



**Henrique Clemente
Pereira**

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE CONSTRUÇÕES EM ADOBE

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Dr. Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Dr. Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

Prof. Associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Coelho Dias Arêde

Prof. Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa

Prof. Catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Humberto Salazar Amorim Varum

Prof. Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Considero que a elaboração de uma dissertação é um produto colectivo embora a sua redacção e responsabilidade seja predominantemente individual. Várias pessoas contribuíram para que este trabalho chegasse a bom termo. A todas elas registo a minha gratidão.

Assim, começaria por agradecer ao Professor Humberto Varum, a sua amizade, dedicação e disponibilidade, assim como as linhas orientadoras e consequente acompanhamento e ensinamentos que sempre disponibilizou.

Ao Professor Aníbal Costa, pela sua orientação, disponibilidade, apoio e pela partilha de conhecimentos sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Professor António Arêde juntamente com o Alexandre Costa, sr. Valdemar, André e Luís pelo apoio na realização de alguns dos ensaios experimentais.

Ao António Figueiredo, Vítor Santos e ao David Carlos pelo apoio dado na construção da parede de adobe em laboratório.

Aos meus colegas Hugo, Dora e Catarina pela ajuda e apoio prestado na realização deste trabalho.

Finalmente gostaria de agradecer aos meus pais e irmã o ininterrupto apoio e carinho que sempre me dedicaram.

A todos aqui deixo a minha mais profunda gratidão.

palavras-chave

Construção em terra, adobe, elementos estruturais em adobe, ensaios de caracterização mecânica, comportamento cíclico.

resumo

Em Portugal, e principalmente no distrito de Aveiro, a construção em adobe foi uma técnica muito utilizada até meados do século XX. Actualmente, cerca de 25% dos edifícios existentes na cidade de Aveiro são de adobe. Estima-se que esta percentagem sobe para 40% se referida a todo o distrito. O adobe pode ser encontrado nas mais diversas construções: edifícios rurais, edifícios urbanos, muros, poços de água, igrejas e armazéns. Um número importante dos edifícios urbanos em adobe é de reconhecido valor arquitectónico, nomeadamente do estilo “Arte Nova”.

Muitas das construções existentes em adobe apresentam um nível de dano estrutural acentuado, uma elevada vulnerabilidade sísmica e, em muitos casos, encontram-se no limiar da ruína. Esta negligência generalizada resulta, em grande parte, da falta de sensibilidade para a preservação desta herança arquitectónica, e também do limitado conhecimento existente sobre as propriedades mecânicas e o comportamento estrutural de elementos em adobe. Neste contexto, e para colmatar esta escassez de informação técnica, foram realizadas várias campanhas experimentais. Procurando identificar e avaliar características estruturais tais como a rigidez, a capacidade resistente, a capacidade de dissipação de energia e os mecanismos de colapso, essas campanhas incluíram: estudos da composição granulométrica dos diferentes adobes da região; ensaios de caracterização do comportamento mecânico de unidades de adobe; ensaios de caracterização dinâmica de paredes de adobe; ensaios cíclicos quase-estáticos, no plano e fora do plano, em paredes de adobe.

Estes estudos têm como objectivo o estabelecimento de uma base de conhecimento que permitirá a interpretação de patologias estruturais, a calibração de modelos numéricos, a avaliação da segurança, e o desenvolvimento de soluções de reforço adequadas para as construções existentes em adobe.

keywords

Earth construction, adobe, structural adobe elements, mechanical characterization tests, cyclic behaviour.

abstract

In Portugal, and particularly in Aveiro district, adobe construction was a widely applied technique until the middle of the 20th century. Presently, about 25% of the existing buildings in Aveiro city are made of adobe. It is estimated that this percentage rises to 40% when referred to the entire district. Adobe can be found in varied types of construction: rural buildings, urban buildings, walls for the delimitation of properties, water wells, churches and warehouses. An important number of the urban adobe buildings is of architectonic recognized value, namely of the “Art Nouveau” style.

Many of the existing adobe constructions present a pronounced level of structural damage, a high vulnerability to seismic actions and, in many cases, are in the imminence of ruin. This generalized negligence results, in great part, from the lack of sensibility for the preservation of this architectonic heritage, and also from the limited existing knowledge concerning the mechanical properties and structural behaviour of adobe elements. In this context, and to help filling this technical information gap, several experimental campaigns were conducted. With the objective of identifying and evaluating structural characteristics such as stiffness, strength capacity, energy dissipation capacity and collapse mechanisms, these campaigns included: studies of the granulometric composition of different adobes in the region; tests for the characterization of the mechanical behaviour of adobe units; tests for the dynamic characterization of adobe walls; and in-plane and out-of-plane quasi-static cyclic tests on adobe walls.

These studies aim to establish a basis of knowledge that can support the interpretation of structural pathologies, calibration of numerical models, structural safety assessment, and design of adequate strengthening solutions for the existing adobe constructions.

ÍNDICE DE TEXTO

ÍNDICE DE TEXTO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 1 ENQUADRAMENTO, OBJECTIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.1	Enquadramento e motivação.....	1.1
1.2	Objectivos da dissertação.....	1.2
1.3	Estrutura da dissertação	1.3

CAPÍTULO 2 CONSTRUÇÕES EM ADOBE

2.1	Construções em adobe no distrito de aveiro	2.1
2.2	Investigação das construções em adobe.....	2.4
2.3	Adobe de aveiro	2.7

CAPÍTULO 3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE

3.1	Seleção e nomenclatura das amostras	3.1
3.2	Caracterização granulométrica.....	3.2
3.3	Ensaio de compressão simples em blocos de adobe	3.3
3.4	Ensaio de muretes de adobe à escala reduzida	3.8
3.5	Ensaio sobre parede de alvenaria em adobe (laboratório).....	3.13
3.5.1	Ensaio dinâmico não-destrutivo.....	3.14
3.5.2	Ensaio cíclico	3.15

CAPÍTULO 4 CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE
UMA PAREDE EM ALVENARIA DE ADOBE

4.1	Construção da parede.....	4.1
4.2	Ensaio da parede.....	4.4
4.2.1	Ensaaios dinâmicos	4.5
4.2.2	Ensaaios cíclicos	4.6

CAPÍTULO 5 ENSAIOS “IN SITU” SOBRE CONSTRUÇÕES DE ADOBE

5.1	Muro – Fermelã	5.1
5.1.1	Ensaaios dinâmicos não-destrutivos	5.3
5.1.2	Ensaaios cíclicos	5.4
5.1.3	Ensaio cíclico no plano	5.4
5.1.4	Ensaio cíclico para fora do plano	5.6
5.2	Casa do Paço.....	5.8
5.2.1	Ensaaios cíclicos	5.10

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1	Conclusões.....	6.1
6.2	Possíveis acções de desenvolvimento futuro.....	6.2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 CONSTRUÇÕES EM ADOBE

Figura 2.1 - Construção em terra em Portugal [2].....	2.2
Figura 2.2 - Construções em adobe no distrito de Aveiro.....	2.3
Figura 2.3 - Produção de adobe.....	2.7
Figura 2.4 - Adobe assente sobre alicerces em pedra.	2.8
Figura 2.5 - Adobe em paredes de poços de água.....	2.8
Figura 2.6 - Diferentes tipos de adobe encontrado na região de Aveiro.....	2.9
Figura 2.7 - Reutilização dos materiais de construção.....	2.10

CAPÍTULO 3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE

Figura 3.1 - Análises granulométrica do adobe de um muro (W_09).....	3.2
Figura 3.2 - Ensaio mecânicos dos provetes de adobe.	3.4
Figura 3.3 - Muretes: ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e ensaios de compressão diagonal.	3.9
Figura 3.4 - Curvas de comportamento obtidas nos ensaios dos muretes (compressão diagonal).....	3.12
Figura 3.5 - Curvas de comportamento obtidas nos ensaios dos muretes (compressão perpendicular às juntas de assentamento).	3.12
Figura 3.6 - Esquema de ensaio da parede em laboratório.....	3.14
Figura 3.7 - Leitura com sismógrafo de acelerações (em laboratório).....	3.15
Figura 3.8 - Dispositivo de ensaio cíclico da parede de adobe em laboratório.....	3.16
Figura 3.9 - Força versus deslocamento no topo da parede.	3.17
Figura 3.10 - Ensaio cíclicos: evolução da deformada.....	3.17
Figura 3.11 - Evolução da energia total ao longo do ensaio.	3.18

CAPÍTULO 4 CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UMA PAREDE EM ALVENARIA DE ADOBE

Figura 4.1 - Parede construída em laboratório.	4.2
Figura 4.2 - Dimensões da parede.	4.3
Figura 4.3 - Construção da parede.....	4.4
Figura 4.4 - Esquema geral de ensaio.....	4.5
Figura 4.5 - Evolução da frequência ao longo do ensaio.....	4.6
Figura 4.6 - Transdutores de deslocamentos horizontais.	4.7
Figura 4.7 - Transdutores de deslocamentos verticais.....	4.8
Figura 4.8 - Transdutores de deslocamentos face sul.....	4.9
Figura 4.9 - Evolução de danos.	4.10
Figura 4.10 - Força versus deslocamento no topo da parede.....	4.10

CAPÍTULO 5 ENSAIOS “IN SITU” SOBRE CONSTRUÇÕES DE ADOBE

Figura 5.1 - Parede ensaiada in-situ.	5.2
Figura 5.2 - Esquema de ensaio da parede in-situ.	5.2
Figura 5.3 - Leitura com sismógrafo de acelerações (in-situ).	5.3
Figura 5.4 - Evolução da força aplicada ao longo do ensaio.....	5.5
Figura 5.5 - Força versus deslocamento no topo da parede.....	5.5
Figura 5.6 - Evolução da energia total ao longo do ensaio.....	5.5
Figura 5.7 - Ensaio da parede in-situ fora do seu plano.	5.6
Figura 5.8 - Resultados do ensaio in-situ da parede fora do plano: força versus deslocamento.	5.7
Figura 5.9 - Casa em alvenaria de adobe – Casa do Paço	5.9
Figura 5.10 - Registo geométrico da habitação e levantamento de fissuração importante	5.9
Figura 5.11 - Esquema geral do dispositivo de ensaio.	5.11
Figura 5.12 - Pormenores do dispositivo de ensaio.....	5.12
Figura 5.13 - Resultados do ensaio experimental.....	5.13
Figura 5.14 - Evolução do desligamento do cunhal.	5.14
Figura 5.15 - Mecanismo de rotura parcial para fora do plano	5.15

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE

Tabela 1 - Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de casas.	3.4
Tabela 2 - Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de muros.....	3.6
Tabela 3 - Principais resultados dos ensaios de caracterização mecânica do adobe e dos muretes.....	3.11

CAPÍTULO 1

ENQUADRAMENTO, OBJECTIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Em Portugal, a construção em alvenaria resistente em adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do séc. XIX, teve o seu auge na primeira metade do séc. XX, mas veio sendo gradualmente abandonada nos anos sessenta até ao seu desaparecimento como técnica construtiva. Actualmente são ainda vários os exemplos de património histórico edificado neste tipo de alvenaria, assim como de edifícios de habitação e serviços, que continuam a satisfazer as funções para as quais foram projectados e assim vão atestando a longevidade do adobe como material de construção [1, 2].

Actualmente é evidente o nível de degradação e abandono patente nas construções em adobe da região de Aveiro. Contudo, pode-se ressaltar casos em que as construções se encontram plenamente capazes de cumprir as funções para as quais foram pensadas e construídas, necessitando apenas para tal de pequenas obras de manutenção e conservação. No entanto, a demolição tem sido a solução geralmente adoptada para estas construções, tendo-se porém nos últimos anos recorrido pontualmente à reabilitação e reforço das

construções em adobe por parte de alguns proprietários sensibilizados com a sua salvaguarda e preservação.

A opção de reabilitar apresenta dificuldades acrescidas devido à falta de informação sobre as propriedades e caracterização mecânica do adobe, sendo necessários estudos técnicos para determinar propriedades tais como o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, à tracção e ao corte ou a sua composição, entre outros.

A caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas, bem como das próprias alvenarias em adobe, são instrumentos fundamentais na interpretação das patologias estruturais mais comuns, calibração de modelos numéricos, avaliação da segurança e de valiosa utilidade no apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente [3].

1.2 OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho teve como principal objectivo contribuir para uma melhor caracterização do comportamento estrutural das construções existentes na região de Aveiro em alvenaria de adobe, com vista a colmatar a escassez de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas das construções em alvenaria de adobe e do próprio material.

Informação essa que permitirá a interpretação das patologias estruturais mais comuns, calibração de modelos numéricos, avaliação da segurança e o desenvolvimento de soluções de reforço adequadas, de extrema importância em projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente.

Genericamente o presente trabalho visou:

- Estudar as construções em adobe da região de Aveiro;
- Efectuar ensaios de caracterização mecânica e granulométrica do material – adobe;
- Realizar várias campanhas experimentais sobre paredes de alvenaria em adobe (ensaios de caracterização dinâmica, ensaios cíclicos quase-estáticos) para determinar o comportamento e propriedades mecânicas destas construções;
- Identificar aspectos tais como a rigidez, a capacidade resistente, a dissipação de energia e os mecanismos de colapso, de adobes da região.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo é apresentado o enquadramento e motivação do trabalho e são resumidos os objectivos principais deste trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a construção em terra, juntamente com uma revisão bibliográfica sobre os assuntos abordados. No final é descrito, o material - adobe, especificamente o da região de Aveiro.

No Capítulo 3 apresentam-se os ensaios de caracterização mecânica efectuados sobre blocos de adobe da região, particularmente ensaios de compressão simples em blocos, ensaios ao corte e à compressão de muretes feitos à escala reduzida e ensaios sobre uma pequena parede de alvenaria em adobe.

O Capítulo 4 é dedicado à descrição dos trabalhos de caracterização do comportamento estrutural de edifícios em alvenaria de adobe em laboratório. Para os quais

foi construída em laboratório uma parede em escala real com adobes provenientes de uma demolição.

No Capítulo 5 descrevem-se as campanhas experimentais realizadas “*in situ*” em edifícios em alvenaria de adobe. De forma a caracterizar o comportamento estrutural de construções já edificadas.

Finalmente, no Capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões do presente trabalho e são referidas ainda algumas das possibilidades de desenvolvimento futuro.

CAPÍTULO 2

CONSTRUÇÕES EM ADOBE

2.1 CONSTRUÇÕES EM ADOBE NO DISTRITO DE AVEIRO

A terra como material de construção tem mais de dez mil anos, sendo adoptada nas mais variadas edificações, desde casas simples a numerosas edificações de índole defensivas e de culto. Aproximadamente 30% da população mundial vive em construções de terra. Cerca de 50% da população dos países em desenvolvimento, incluindo a maioria da população rural e pelo menos 20% da população urbana e suburbana vivem em casas de terra. [4, 5].

Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, é predominante no sul e centro litoral. O norte e centro interior são dominados pela alvenaria de pedra. A técnica construtiva mais utilizada no sul é a taipa. Relativamente ao adobe e apesar da sua enorme heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo ao centro litoral (ver Figura 2.1).

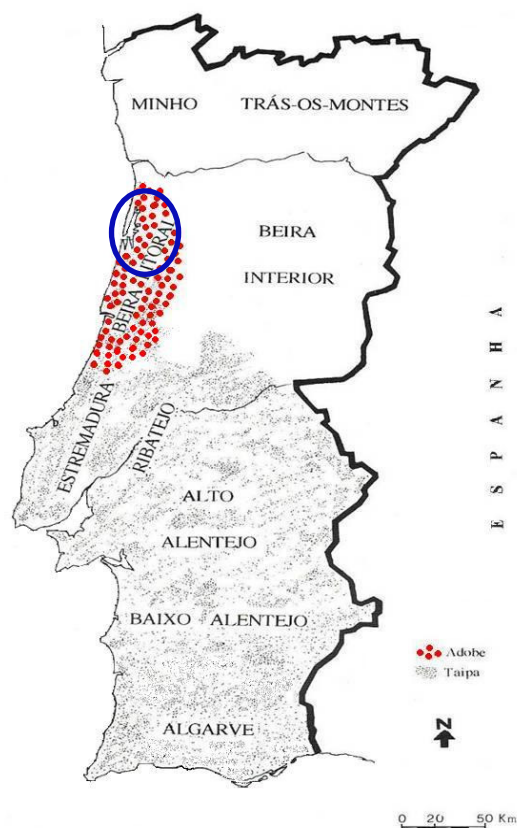


Figura 2.1 - Construção em terra em Portugal [2]

A construção em alvenaria resistente em adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do séc. XIX, teve o seu auge na primeira metade do séc. XX, mas veio sendo gradualmente abandonada nos anos sessenta até ao seu desaparecimento como técnica construtiva, segundo dados do município de Aveiro, cerca de 20-25% da construção existente na cidade é em adobe, fracção esta que aumenta para 35-40% no conjunto de toda a região.

O adobe não foi somente utilizado em construções pequenas e modestas, como por exemplo casas rurais, arrecadações, armazéns, muros de propriedades ou poços de água. São ainda vários os exemplos de património com elevado valor histórico e cultural edificado neste tipo de alvenaria, nomeadamente igrejas, casas de espectáculos, grandes mansões, algumas destas com uma arquitectura de estilo Arte Nova, que constituiu o movimento artístico e arquitectónico dominante à época (ver Figura 2.2).



Figura 2.2 - Construções em adobe no distrito de Aveiro.

Embora pese o estado de degradação que exibem, são ainda inúmeros os exemplos de edifícios de habitação e serviços (alguns de dimensões consideráveis) que continuam a satisfazer as funções para as quais foram projectados e assim vão atestando a longevidade do adobe como material de construção necessitando apenas para tal de pequenas obras de manutenção e conservação. No entanto, a demolição tem sido a solução geralmente

adoptada para estas construções, tendo-se porém nos últimos anos recorrido pontualmente à reabilitação e reforço das construções em adobe por parte de alguns proprietários sensibilizados com a sua salvaguarda e preservação.

A opção de reabilitar apresenta dificuldades acrescidas devido à falta de informação sobre as propriedades e caracterização mecânica do adobe, sendo necessários estudos técnicos para determinar propriedades tais como o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, à tracção e ao corte ou a sua composição, entre outros.

A caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas, bem como das próprias alvenarias em adobe, são instrumentos fundamentais na interpretação das patologias estruturais mais comuns, calibração de modelos numéricos, avaliação da segurança e de valiosa utilidade no apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente [6].

2.2 INVESTIGAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES EM ADOBE

Com vista a colmatar a escassez de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas das construções em terra, tem-se assistido desde meados dos anos setenta a um aumento de trabalhos científicos nesta área. Por exemplo na Universidade Católica do Peru (PUCP) tem vindo a desenvolver trabalhos de estudo e melhoria do comportamento das construções existentes em adobe [7, 8, 9, 10, 11, 12] os resultados permitiram o desenvolvimento de técnicas de reforço sismoresistentes e serviram também para a elaboração da norma Peruana.

Nos Estados Unidos Tolles *et al* [13, 14, 15, 16] efectuou ensaios em mesa sísmica, sobre casas à escala reduzida e em tamanho real.

Na *Universidad de los Andes* Colômbia e *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS)*, Yamin *et al* [17, 18] procederam a um programa experimental, no qual realizaram ensaios de muros à escala natural submetidos a cargas fora do plano e no plano,

ensaaiaram também em mesa sísmica modelos reduzidos e por fim submeteram a cargas horizontais cíclicas várias casas feitas à escala reduzida. Com estes ensaios caracterizaram as edificações e estudaram diferentes alternativas de reabilitação

Pontualmente surgem outros trabalhos experimentais em construções de adobe nomeadamente no México [19] onde são ensaiados muretes reforçados de adobe à flexão.

Apesar do trabalho desenvolvido e da informação daí resultante, reconhece-se que existem ainda muitos problemas não resolvidos no conhecimento do comportamento deste tipo de construções, que justificam a necessidade de desenvolvimento de trabalho de investigação nestes domínios, nomeadamente: a avaliação do comportamento estrutural das construções em adobe em muitos locais, e em particular no distrito de Aveiro.

Recentemente foram iniciados, na Universidade de Aveiro, trabalhos de investigação sobre o comportamento destas construções, que tem como objectivo compreender o seu funcionamento, interpretar as causas das patologias mais frequentes, e definir soluções adequadas de reforço e reabilitação [6, 20].

Para o estudo do comportamento estrutural das construções existentes em adobe, a estratégia mais adequada combina trabalho experimental e análises numéricas. Na modelação numérica, a análise não-linear é a análise que deve ser primariamente considerada para o entendimento do comportamento de estruturas de alvenaria [21]. Para a adequada análise do comportamento das estruturas em alvenaria de adobe sugere-se a combinação de modelos de análise estrutural não linear dinâmica, com modelos materiais de dano contínuo [22], devido à natureza dos seus materiais constituintes e das soluções construtivas correntes. Apesar de existirem ferramentas numéricas adequadas para a análise estrutural das construções tradicionais em alvenaria, a literatura existente para a modelação não linear destas estruturas é muito limitada e as orientações para a simulação analítica das leis constitutivas dos materiais envolvidos são escassas, existindo por isso uma necessidade de investigação para a calibração adequada dos modelos numéricos [23]. Esta deficiência de conhecimento é especialmente verdade para o caso das estruturas de adobe. É assim evidente a necessidade de desenvolvimento e calibração de modelos numéricos adequados para a simulação do seu comportamento.

Têm sido realizados alguns trabalhos de investigação para o desenvolvimento de soluções de reforço para edifícios em adobe [24, 25, 26]. No entanto, deverá ainda ser realizado, neste campo, trabalho significativo, particularmente no desenvolvimento de soluções adaptadas aos materiais disponíveis em cada região, à realidade socio-económica existente, e às exigências técnicas em cada caso.

Para além de se dever garantir um funcionamento estrutural adequado das construções, é importante também que se não negligencie outros aspectos fundamentais para uma utilização com higiene e conforto, sendo o conforto higrotérmico, em particular, fundamental. Existe um conjunto de trabalhos internacionais que constitui já uma importante base para a análise e reabilitação não estrutural de construções em adobe [27, 28, 29, 30, 31]. O conhecimento existente pode e deve ser aperfeiçoado através da observação de mais casos reais de estudo, sendo particularmente importante a sua aplicação ao estudo do comportamento das construções em adobe da região de Aveiro.

Para avaliar as condições no local podem ser usados métodos de ensaio “in situ”. São aplicáveis à alvenaria não reforçada em geral, e podem ser úteis no caso particular da alvenaria de adobe. Importa ressaltar que a experiência de aplicação da maior parte das técnicas não destrutivas sobre a construção em adobe é ainda reduzida, existindo a necessidade de se estudar a adequabilidade dessas técnicas bem como a eventual necessidade de as adaptar ou de criar até novos métodos.

Como principais ensaios laboratoriais adequados para a caracterização estrutural da construção em adobe temos:

- Ensaio para a caracterização mecânica dos materiais, que incluem ensaios sobre provetes de adobe e ensaios sobre provetes de argamassa de junta e de revestimento;
- Ensaio para a caracterização mecânica dos elementos construtivos que, em ordem de complexidade decrescente, podem ser agrupados em [32]: ensaios de modelos de casas, de paredes à escala natural, de muretes e de espécimes simples;
- Ensaio para a caracterização dinâmica dos elementos construtivos, que incluem ensaios para a obtenção das frequências próprias e dos modos de vibração, ensaios pseudo-dinâmicos, e ensaios dinâmicos em mesa sísmica.

2.3 ADOBE DE AVEIRO

Regra geral, os blocos de adobe eram realizados com terra arenosa húmida, que depois de amassada e colocada em formas, era seca ao sol (ver Figura 2.3). Dado que é um material fabricado de forma manual conduz, basicamente, a que todos os blocos sejam realizados de forma diferente, nomeadamente nas condições de compactação. Facto esse que pode contribuir para uma ligeira dispersão nas propriedades dos blocos.

Para o melhoramento do seu desempenho mecânico era relativamente frequente a inclusão de cal e por vezes de palha. As dimensões correntes, pese embora a existência de inúmeras tipologias identificadas, variavam sobretudo consoante o uso, sendo de aproximadamente $0.45 \times 0.30 \times 0.15 \text{ m}^3$ quando utilizados em casas e de $0.45 \times 0.20 \times 0.15 \text{ m}^3$ quando utilizados na construção de muros.



Figura 2.3 - Produção de adobe.

Sendo pouco resistente à água, o adobe em paredes é assente sobre um primeiro alicerce em pedra, evitando o contacto directo com o solo, de forma a protegê-lo da humidade ascensional (ver Figura 2.4). Ocasionalmente foram encontrados casos em que as paredes eram assentes directamente no solo, tendo nestes casos graves problemas de humidade. No caso dos poços de água, a opção por uma composição melhorada do adobe

com recurso à adição de cal garante o adequado comportamento e durabilidade, apesar do contacto directo com a água (ver Figura 2.5).



Figura 2.4 - Adobe assente sobre alicerces em pedra.



Figura 2.5 - Adobe em paredes de poços de água.

Nas construções de adobe encontram-se frequentemente soluções simples e engenhosas destinadas a melhorar a limitada resistência do material, tais como a utilização de barrotes de madeira, arcos mais ou menos elaborados realizados com os mais diversos materiais (pedra, madeira, tijolo e até em adobe), por forma a vencer os vãos das aberturas e melhorar a distribuição das cargas nos elementos estruturais.

A grande heterogeneidade de dimensões e de constituição dificulta a caracterização e o estudo da construção em adobe. É possível encontrar paredes resistentes realizadas em adobe extremamente fraco, como por exemplo em terra preta (rica em matéria orgânica), ou em adobe melhorado com inclusão de palha para melhorar as suas propriedades

mecânicas, (ver Figura 2.6). Em alguns casos encontra-se na mesma parede diferentes tipos de adobe misturados de uma forma mais ou menos aleatória com outros materiais, como por exemplo a pedra, era comum a reutilização dos materiais de construção, gerando uma dificuldade acrescida na caracterização destes casos dada a sua a grande heterogeneidade (ver Figura 2.7).



a) Adobe reforçado com palha para melhorar as suas propriedades mecânicas.



b) Adobe feito com restos de outras construções.



c) Adobe extremamente fraco realizado em terra preta (rica em matéria orgânica).



d) Adobe mais comum, de terra arenosa

Figura 2.6 - Diferentes tipos de adobe encontrado na região de Aveiro.



Figura 2.7 - Reutilização dos materiais de construção

CAPÍTULO 3

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO ADOBE

Neste capítulo apresentam-se os ensaios de caracterização mecânica efectuados sobre blocos de adobe da região, particularmente ensaios de compressão simples em blocos, ensaios ao corte e à compressão de muretes feitos à escala reduzida e ensaios sobre uma pequena parede de alvenaria em adobe.

3.1 SELECÇÃO E NOMENCLATURA DAS AMOSTRAS

Dada a grande variabilidade, quer ao nível dimensional quer da sua constituição, de adobes existentes na região, tentou-se seleccionar um conjunto de amostras representativas das suas tipologias na região de Aveiro, para tal, foram recolhidas amostras de muros e casas em distintos locais de forma a caracterizá-lo o mais amplamente possível.

A proveniência do adobe foi sempre assinalada em ortofotomapas de forma a registar o local exacto da construção estudada. Esta referência ao local de proveniência é importante pois permite analisar quais as zonas da região que têm solos com melhores características para a usar na construção de alvenaria em adobe.

Para facilitar a identificação e análise os provetes foram numerados e seriados, segundo a sua proveniência, diferenciando, respectivamente, amostras de casas e muros com a notação: H _ i _ j e W _ i _ j , onde i representa o número da obra, e o índice j , representa o número do carote extraído.

Foram recolhidas amostras constituídas, sempre que possível, por blocos inteiros de adobe, e quando possível foram retiradas amostras de argamassa de junta e de reboco.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Dado que os adobes recolhidos são constituídos essencialmente por solos arenosos, tendo em certos casos a presença de argilas e cal aérea, uma caracterização básica da sua composição foi efectuada pela análise granulométrica por peneiração seca. (ver Figura 3.1).

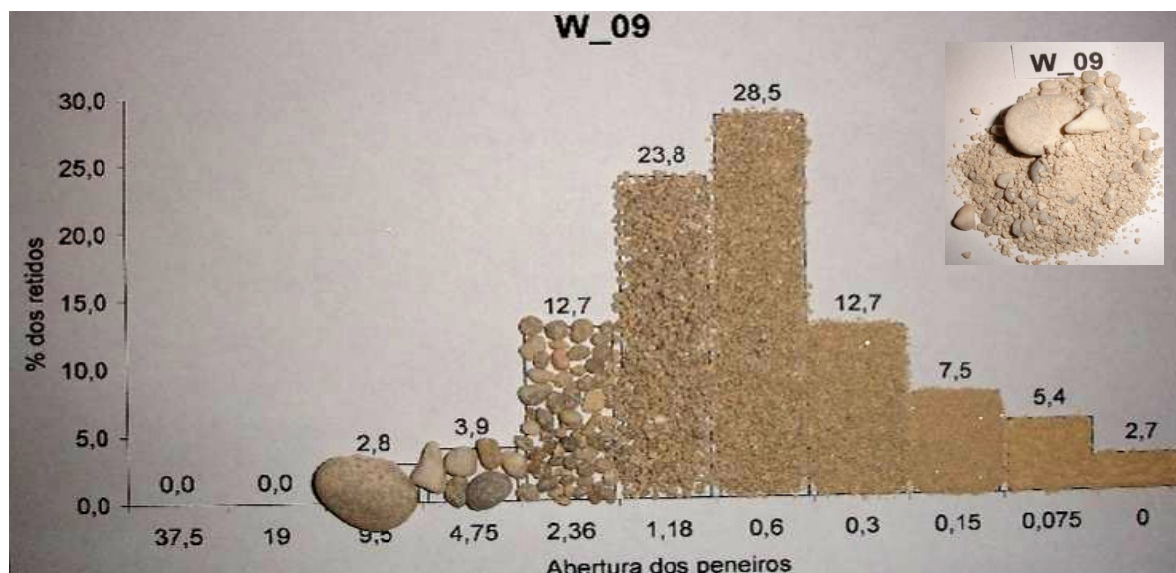


Figura 3.1 - Análises granulométrica do adobe de um muro (W_09)

Do traçado das curvas granulométricas, de amostras das construções em estudo, ressaltam dois factos relevantes:

A maioria dos agregados que compõem os adobes existentes nas construções estudadas foram classificados como areias grossas. No entanto, embora menos comum, também surgem amostras com maior índice de finos.

A elevada fracção de agregados de dimensões superiores a 2.5mm, em alguns dos casos dificultou a extracção de carotes com diâmetro regular, sendo mesmo praticamente inexequível fazer essa extracção para alguns tipos de adobe.

3.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES EM BLOCOS DE ADOBE

Dos blocos de adobe recolhidos foram seleccionados aleatoriamente, evitando-se blocos não inteiros e blocos com danos significativos. Posteriormente foram retirados destes blocos, por corte rotativo, provetes cilíndricos, com diâmetro compreendido entre 78 e 90mm e com altura aproximadamente igual ao dobro do diâmetro. Estes foram posteriormente cortados com uma altura igual a duas vezes o diâmetro, procedendo-se à regularização das faces de topo dos provetes de forma a estarem perfeitamente perpendiculares ao seu eixo. Os provetes de adobe foram numerados e seriados, de acordo com a notação apresentada

Foram submetidos 114 provetes cilíndricos a ensaios de compressão a fim de determinar a resistência mecânica. Dos quais, 68 eram provenientes de amostras de casas e 46 de muros. As amostras na sua maioria foram ensaiadas à compressão simples, tendo sido algumas delas ensaiadas à compressão diametral, para tal recorreu-se a uma prensa mecânica universal (ver Figura 3.2).

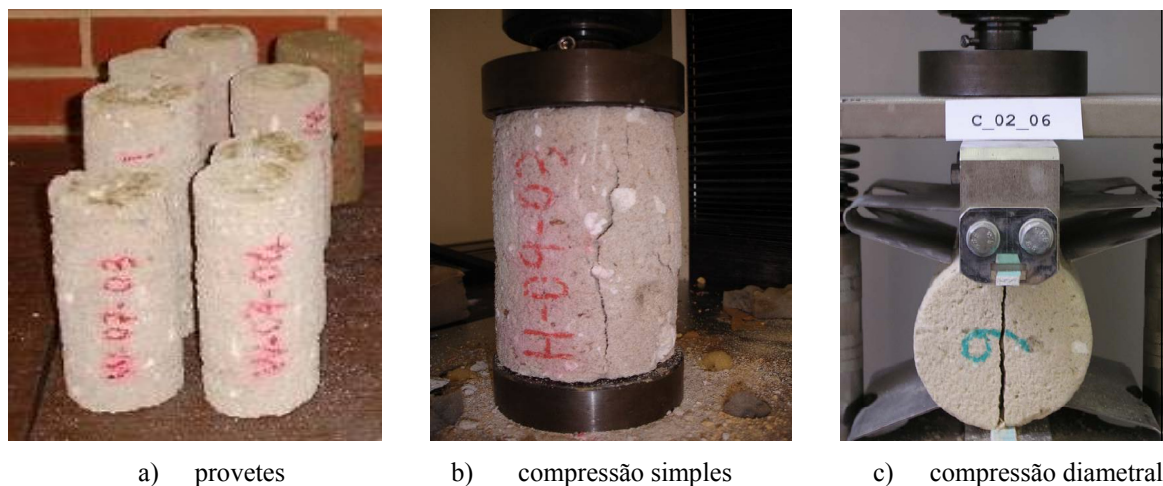


Figura 3.2 - Ensaio mecânicos dos provetes de adobe.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples mostram valores significativos da resistência à compressão das amostras ensaiadas (0.5-3.0MPa), sendo que para a resistência à tracção, igualmente expressivos, os resultados obtidos correspondem a valores de aproximadamente 20% da resistência à compressão respectiva (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1 - Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de casas.

Amostra		Módulo de Young	Resistência à Compressão	Deformação para a resistência máxima	Resistência à tracção
		(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)
Casa 1	H_01_02	230.0	1.12	6	--
	H_01_03	250.0	1.29	9	--
	H_01_04	340.0	1.32	4	--
	H_01_05	--	--	--	0.14
	H_01_06	--	--	--	0.19
	H_01_07	--	--	--	0.06
	Média	273.3	1.24	7	0.13
Casa 2	H_02_01	280.0	1.25	7	--
	H_02_02	170.0	0.94	8	--
	H_02_03	160.0	0.81	6	--
	H_02_04	--	--	--	0.20

	H_02_05	--	--	--	0.19
	H_02_06	--	--	--	0.16
	Média	203.3	1.00	7	0.19
Casa 3	H_03_01	95.0	0.74	17	--
	H_03_02	100.0	0.91	13	--
	H_03_03	95.0	0.61	12	--
	H_03_04	--	--	--	0.18
	H_03_05	--	--	--	0.24
	H_03_06	--	--	--	0.16
	Média	96.7	0.75	14	0.19
Casa 4	H_04_01	55.0	0.59	28	--
	H_04_02	55.0	0.95	55	--
	H_04_03	50.0	0.63	43	--
	Média	53.3	0.72	42	--
Casa 5	H_05_01	630.0	3.07	11	--
	H_05_02	640.0	2.96	15	--
	H_05_03	450.0	3.00	19	--
	H_05_04	650.0	2.86	12	--
	H_05_05	315.0	1.53	15	--
	H_05_06	315.0	1.31	11	--
	H_05_07	380.0	1.36	12	--
	H_05_08	200.0	1.13	21	--
	Média	447.5	2.15	15	--
Casa 9	H_09_01	135.0	0.74	6	--
	H_09_02	70.0	0.45	15	--
	H_09_03	65.0	0.58	13	--
	H_09_04	100.0	0.91	15	--
	H_09_05	95.0	0.98	17	--
	Média	93.0	0.73	13	--
Casa 10	H_10_01	375.0	2.20	8	--
	H_10_02	590.0	3.01	7	--
	H_10_03	210.0	1.61	9	--
	H_10_04	350.0	1.89	8	--
	H_10_05	220.0	1.46	11	--
	H_10_06	270.0	1.74	9	--
	Média	335.8	1.99	9	--
Casa 11	H_11_01	160.0	1.24	11	--
	H_11_02	105.0	0.81	10	--
	H_11_03	145.0	0.99	8	--
	H_11_04	155.0	1.08	12	--
	H_11_05	100.0	0.74	16	--

	H_11_06	150.0	1.06	13	--
	H_11_07	125.0	0.80	11	--
	H_11_08	170.0	1.32	8	--
	H_11_09	130.0	1.35	12	--
	H_11_10	210.0	1.41	8	--
	H_11_11	170.0	1.29	9	--
	Média	147.3	1.10	11	--
Casa 12	H_12_01	80.0	0.90	22	--
	H_12_02	500.0	1.12	10	--
	H_12_03	230.0	1.31	14	--
	H_12_04	120.0	0.87	16	--
	H_12_05	220.0	1.24	10	--
	H_12_06	160.0	1.29	16	--
	H_12_07	120.0	1.21	14	--
	H_12_08	150.0	1.08	13	--
	Média	197.5	1.13	14	--

Tabela 2 - Resultados dos ensaios mecânicos sobre os carotes retirados de muros.

Amostra		Módulo de Young (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Deformação para a resistência máxima (mm/mm)	Resistência à tracção (MPa)
Muro 1	W_01_02	110.0	0.90	0.009	--
	W_01_03	185.0	1.21	0.008	--
	W_01_04	120.0	0.74	--	--
	W_01_05	--	--	--	--
	Média	138.3	0.95	0.008	--
Muro 2	W_02_01	85.0	0.54	0.010	--
	W_02_02	97.0	1.07	0.011	--
	W_02_03	170.0	0.86	0.006	--
	W_02_04	--	--	--	0.06
	W_02_05	--	--	--	0.23
	W_02_06	--	--	--	0.10
	Média	117.3	0.83	0.009	0.13
Muro 4	W_04_01	120.0	0.75	0.006	--
	W_04_02	250.0	1.12	0.005	--
	W_04_03	230.0	1.09	0.005	--

	W_04_04	--	--	--	0.09
	W_04_05	--	--	--	0.12
	W_04_06	--	--	--	0.14
	Média	200.0	0.99	0.006	0.12
Muro 5	W_05_01	340.0	2.02	0.011	--
	W_05_02	320.0	1.44	0.005	--
	W_05_03	360.0	1.71	0.007	--
	W_05_04	--	--	--	0.40
	W_05_05	--	--	--	0.28
	W_05_06	--	--	--	0.53
	Média	340.0	1.72	0.008	0.40
Muro 6	W_06_01	230.0	1.36	0.015	--
	W_06_02	200.0	1.34	0.014	--
	W_06_03	210.0	1.24	0.012	--
	W_06_04	320.0	1.56	0.016	--
	W_06_05	100.0	0.87	0.031	--
	Média	212.0	1.27	0.018	--
Muro 7	W_07_01	130.0	0.82	0.009	--
	W_07_02	110.0	0.76	0.009	--
	W_07_03	90.0	0.99	0.012	--
	W_07_04	90.0	0.40	0.011	--
	W_07_05	120.0	0.76	0.010	--
	W_07_06	95.0	0.58	0.009	--
	W_07_07	165.0	1.09	0.010	--
	W_07_08	110.0	0.94	0.013	--
	W_07_09	70.0	0.76	0.013	--
	W_07_10	65.0	0.95	0.020	--
	Média	104.5	0.81	0.012	--
Muro 9	W_09_01	300.0	1.80	0.011	--
	W_09_02	175.0	2.06	0.018	--
	W_09_03	100.0	0.70	0.020	--
	W_09_04	100.0	0.96	0.013	--
	W_09_05	100.0	0.68	0.035	--
	W_09_06	115.0	1.04	0.012	--
	W_09_07	95.0	0.76	0.015	--
	W_09_08	60.0	0.78	0.027	--
	W_09_09	100.0	0.88	0.019	--
	Média	127.2	1.07	0.019	--

3.4 ENSAIOS DE MURETES DE ADOBE À ESCALA REDUZIDA

Com o objectivo de determinar a resistência à compressão e à compressão diagonal das paredes tradicionais de alvenaria de adobe foram construídos 13 muretes, com dimensões, $17 \times 17 \times 10$ cm, e ensaiados à compressão perpendicular às juntas de assentamento e à compressão diagonal (ver Figura 3.3).

Para facilitar a realização dos ensaios optou-se pela execução de muretes a uma escala reduzida. Para tal, extraiu-se a partir de blocos originais de construções existentes pequenos blocos rectangulares com dimensões $17 \times 10 \times 5$ cm.

Os muretes foram construídos utilizando uma argamassa com composição análoga à usada tradicionalmente e com juntas de espessura proporcional às juntas nas construções existentes (aproximadamente 1cm), considerando o efeito de redução de escala. Os elementos de adobe foram dispostos em três fiadas horizontais, sendo as fiadas superior e inferior constituídas por um bloco inteiro, com as dimensões de $17 \times 10 \times 5$ cm, e a fiada intermédia realizada com duas metades e uma junta vertical (ver Figura 2.1).

Foram utilizados elementos de adobe retirados de três edificações distintas (Casa 5, Casa 10, e Muro 10), tendo sido estes caracterizados ao nível de resistência à compressão simples.



Figura 3.3 - Muretes: ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e ensaios de compressão diagonal.

Das curvas força-deformação obtidas através de ensaios de compressão diagonal, pode-se estimar a tensão de rotura em corte e o módulo de elasticidade transversal de cada murete, de acordo com as recomendações do RILEM [33].

A tensão de rotura (S_s) devido ao corte é calculada, para cada murete, tendo por base a expressão (1):

$$S_s = \frac{0,707 \cdot P}{A_n} \quad (1)$$

onde P representa a força de rotura e A_n representa a área efectiva de corte, sendo determinada pela expressão (2):

$$A_n = \frac{l+h}{2} \cdot t \cdot n \quad (2)$$

onde l e h representam a largura e a altura do murete, t representa a sua espessura e n a fracção de área maciça do murete (neste caso $n = 1$, pois os blocos de adobe são maciços).

Na Tabela 3 apresentam-se os principais resultados dos ensaios realizados sobre elementos de adobe, e sobre os muretes.

Os ensaios de compressão perpendicular às juntas de assentamento sobre os muretes mostram valores de resistência à compressão que varia entre 0.86 e 1.33MPa. Salienta-se que a argamassa usada nas juntas possui uma resistência à compressão média de 1.42MPa. Para os blocos de adobe (provetes cilíndricos ensaiados à compressão simples) obtiveram-se valores de resistência à compressão entre 0.99 e 2.15MPa. Analisando os resultados para cada construção, verifica-se uma notável correlação entre a resistência à compressão do adobe e dos muretes correspondentes.

Relativamente aos ensaios de corte obtiveram-se valores para a tensão resistente que varia entre 0.05 e 0.19MPa. Pode-se ainda verificar que para os muretes constituídos por adobe de menor resistência à compressão obteve-se uma menor resistência ao corte.

O módulo de elasticidade transversal e a resistência ao corte, para cada série de muretes ensaiada, é cerca de 1/10 dos correspondentes módulo de elasticidade e resistência à compressão avaliados nos ensaios de compressão perpendicular às juntas.

Os valores obtidos em cada ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e em cada ensaio de compressão diagonal são apresentados na Tabela 3. Na Figura 3.4 e Figura 3.5 são apresentados os gráficos com as curvas de comportamento obtidas nos ensaios de compressão (diagonal e perpendicular às juntas) dos muretes. No gráfico correspondente aos ensaios de compressão perpendicular às juntas, sobrepõem-se ainda o valor da tensão de rotura do adobe utilizado.

Tabela 3 - Principais resultados dos ensaios de caracterização mecânica do adobe e dos muretes.

Amostra		Módulo de Elasticidade	Resistência à Compressão	Módulo de Elasticidade Transversal	Resistência ao Corte	Deformação para a resistência máxima		
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(‰))		
Casa 5	Adobe	H_05_01	630	3.07	--	--	11	
		H_05_02	640	2.96	--	--	15	
		H_05_03	450	3.00	--	--	19	
		H_05_04	650	2.86	--	--	12	
		H_05_05	315	1.53	--	--	15	
		H_05_06	315	1.31	--	--	11	
		H_05_07	380	1.36	--	--	12	
		H_05_08	200	1.13	--	--	21	
	Média		448	2.15	--	--	15	
	Murete	perp.	H_05_w01p	170	1.02	--	--	17
			H_05_w02p	200	1.57	--	--	16
		diag.	H_05_w03d	--	--	47	0.17	4
			H_05_w04d	--	--	57	0.17	3
			H_05_w05d	--	--	55	0.19	5
	Média		185	1.30	53	0.18	--	
Casa 10	Adobe	H_10_01	375	2.20	--	--	8	
		H_10_02	590	3.01	--	--	7	
		H_10_03	210	1.61	--	--	9	
		H_10_04	350	1.89	--	--	8	
		H_10_05	220	1.46	--	--	11	
		H_10_06	270	1.74	--	--	9	
	Média		336	1.99	--	--	9	
	Murete	perp.	H_10_w01p	200	1.33	--	--	8
		diag.	H_10_w02d	--	--	25	0.07	4
			H_10_w03d	--	--	30	0.11	7
Média		200	1.33	28	0.09	--		
Muro 10	Adobe	W_10_01	123	0.88	--	--	19	
		W_10_02	195	1.01	--	--	8	
		W_10_03	160	0.99	--	--	14	
		W_10_04	210	1.28	--	--	12	
		W_10_05	115	0.81	--	--	13	
	Média		161	0.99	--	--	13	
	Murete	perp.	W_10_w01p	95	0.77	--	--	16
			W_10_w02p	250	0.95	--	--	15
		diag.	W_10_w03d	--	--	25	0.06	6
			W_10_w04d	--	--	15	0.05	6
			W_10_w05d	--	--	10	0.05	11
	Média		173	0.86	15	0.05	--	

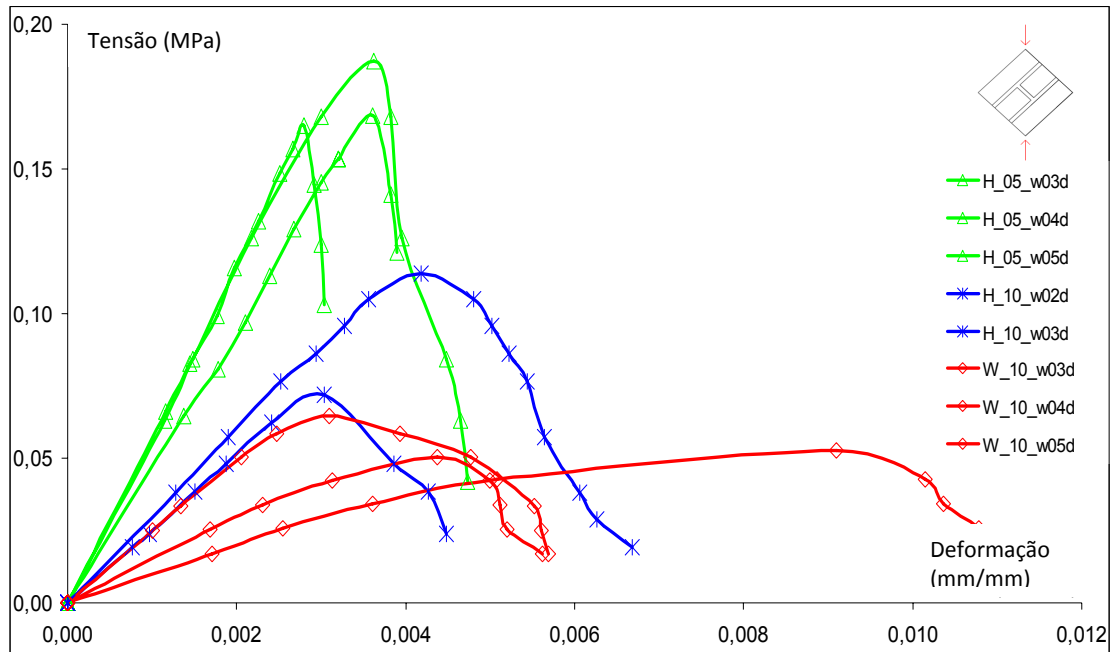


Figura 3.4 - Curvas de comportamento obtidas nos ensaios dos muretes (compressão diagonal)

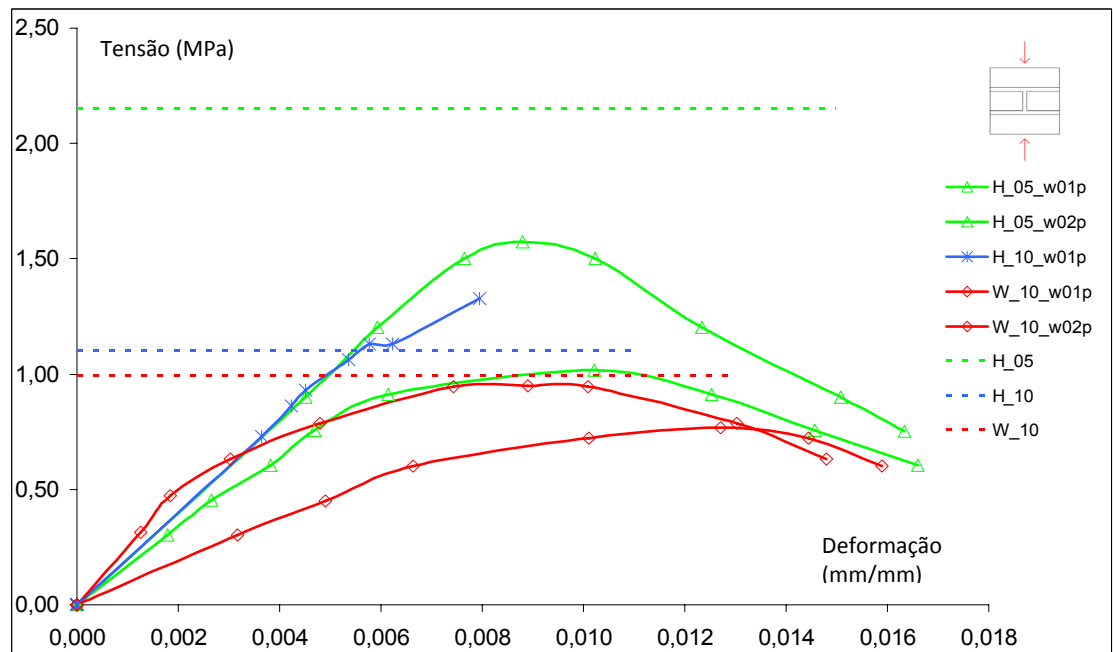


Figura 3.5 - Curvas de comportamento obtidas nos ensaios dos muretes (compressão perpendicular às juntas de assentamento).

3.5 ENSAIOS SOBRE PAREDE DE ALVENARIA EM ADOBE (LABORATÓRIO)

Dada a falta de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas (rigidez, capacidade resistente, capacidade de dissipação de energia, mecanismo de colapso) dos elementos resistentes em alvenaria de adobe nas construções existentes desta região, foram efectuados ensaios sobre uma parede, em laboratório, sob solicitações verticais para simular as acções permanentes e sobrecargas, combinadas com solicitações horizontais cíclicas, como as induzidas por sismos.

Com blocos de adobe recolhidos em construções existentes na região de Aveiro e com uma argamassa produzida com composição análoga à usada tradicionalmente nessas edificações de adobe, foi construída uma parede e ensaiada no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Tendo em consideração as composições das argamassas encontradas na zona onde se recolheram os blocos de adobe e o objectivo de se obter uma argamassa representativa, adoptou-se a seguinte composição, em termos de volume aparente, 1:1:2 para cal hidratada, terra (terra da zona com alguma argila) e areia, respectivamente. Relativamente à quantidade de água, foi adicionada a quantidade necessária até que a argamassa tivesse a trabalhabilidade desejada, estando de acordo com o procedimento de amassadura que era habitualmente realizado em obra

A parede construída tem uma altura de 1.08m, largura de 1.02m e a espessura de um adobe, neste caso 0.185m. O apoio na base simula uma ligação de encastramento (rotação impedida para fora do plano da parede) que foi realizada com recurso a uma lajeta de betão fixa através de varões roscados à laje de reacção do laboratório.

Como já foi referido, na construção da parede usaram-se adobes retirados de uma casa existente na região, cujos valores médios da resistência à compressão e do módulo de elasticidade, determinado em ensaios mecânicos, assumem valores de 1.10MPa e 147.3MPa, respectivamente. Para as juntas de assentamento usou-se uma argamassa com resistência à compressão de 1.42MPa e módulo de elasticidade de 112.8MPa.

Foram realizados dois tipos de ensaios sobre a parede. Inicialmente, em ensaios dinâmicos não destrutivos, foram medidas as frequências próprias da parede, que permitem caracterizar o seu comportamento dinâmico e a calibração de modelos numéricos. Numa segunda fase, foi efectuado um ensaio destrutivo com imposição de forças cíclicas horizontais no plano da parede.

Na Figura 3.6 representa-se um esquema geral da parede e do dispositivo de ensaio.

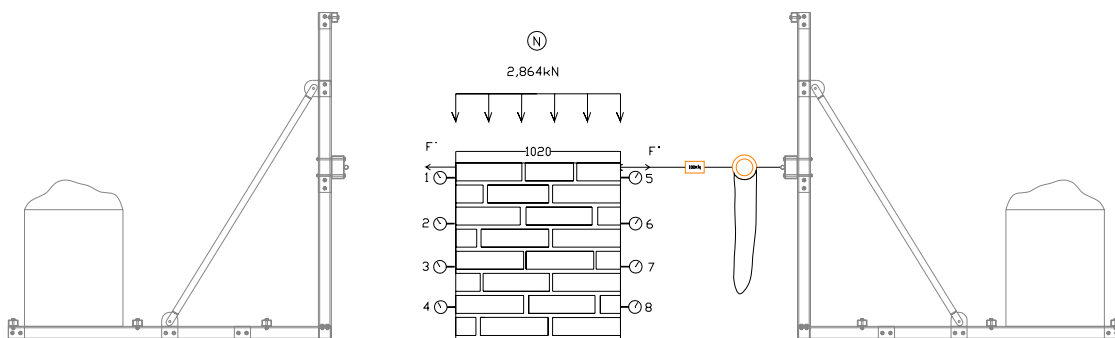


Figura 3.6 - Esquema de ensaio da parede em laboratório.

3.5.1 Ensaio dinâmico não-destrutivo

Foi feita a leitura, através de um sismógrafo, da frequência própria na direcção horizontais transversal. Como excitação aplicou-se um impulso dinâmico sobre a parede. Das acelerações registadas no sismógrafo (ver Figura 3.7) derivou-se a frequência de 10.94Hz na direcção transversal da parede.



Figura 3.7 - Leitura com sismógrafo de acelerações (em laboratório).

Assumindo para a parede um funcionamento em consola de um elemento com secção transversal constante, encastrado na base e com massa uniformemente distribuída em altura, pode estimar-se a frequência própria através da expressão (3):

$$E = \frac{w^2}{1,875^4} \cdot \frac{mL}{I} \quad (3)$$

Onde: E representa o módulo de elasticidade médio da parede; w a frequência da parede (em rad/s; funcionamento em consola); I o momento de inércia da secção transversal; m a massa por unidade de comprimento da parede; e, l a altura total. Através da expressão apresentada e tendo como base a frequência transversal medida obtém-se para o módulo de elasticidade médio da parede um valor de 310MPa.

3.5.2 Ensaio cíclicos

Executaram-se ensaios cíclicos semi-destrutivos sobre a parede construída em laboratório (ver Figura 3.8).

Depois de aplicada a carga vertical (2.86kN) sobre a parede, foram impostas forças horizontais no plano da parede, em ciclos de amplitude crescente até ao colapso da parede,

e mediram-se os deslocamentos. A força horizontal máxima aplicada na parede foi de 3.20kN (ver Figura 3.9).

O modo de rotura verificado na parede é o típico destas paredes de alvenaria e para os níveis de tensão vertical em causa. Este traduziu-se pela abertura de uma fenda horizontal na base da parede. O valor reduzido da carga vertical induz um comportamento tipo mecanismo de corpo rígido, traduzido num movimento de rotação da parede quase intacta sob os seus cantos inferiores (rocking). A resposta à solitação horizontal cíclica aplicada sobre a parede pode ser observada no gráfico da Figura 3.9.



Figura 3.8 - Dispositivo de ensaio cíclico da parede de adobe em laboratório

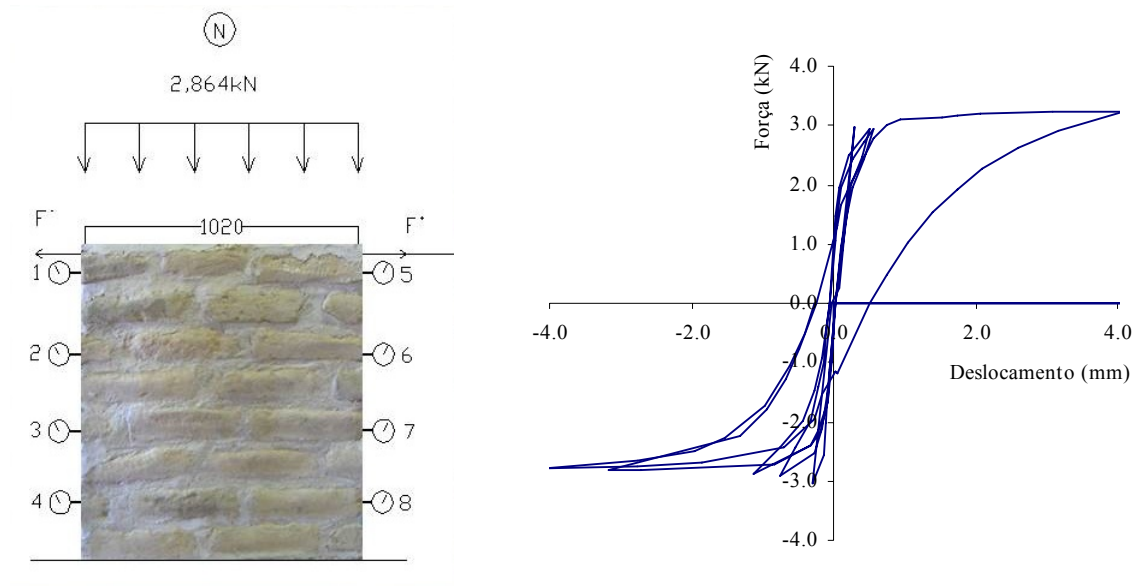


Figura 3.9 - Força *versus* deslocamento no topo da parede.

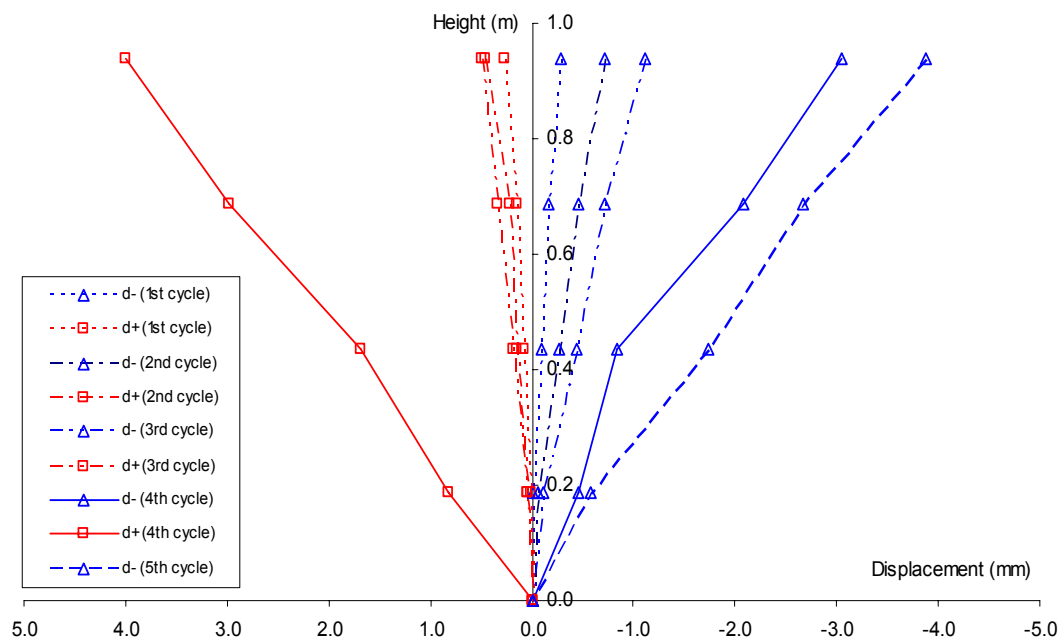


Figura 3.10 - Ensaio cíclico: evolução da deformada.

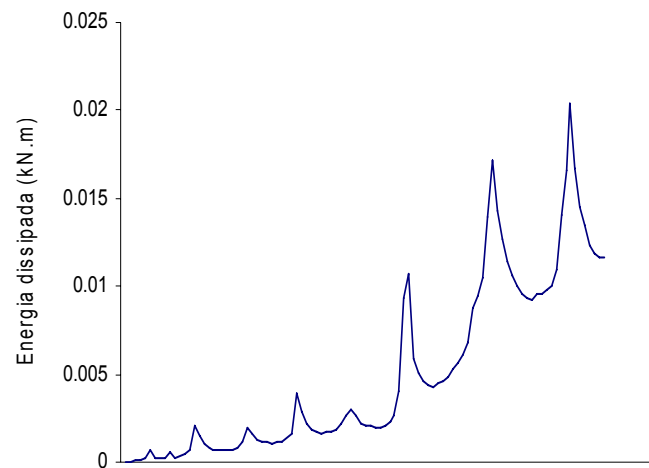


Figura 3.11 - Evolução da energia total ao longo do ensaio.

Na Figura 3.10 apresentam-se os perfis de deformação da parede para cada pico de força imposta. Para forças aplicadas inferiores à cedência (aproximadamente 3kN) a deformação é relativamente contida. Uma vez ultrapassado este valor, as deformações crescem consideravelmente.

Na Figura 3.11 apresenta-se a evolução da energia dissipada ao longo do ensaio cíclico. É evidente a não linearidade da resposta, mas com dano limitado, uma vez que grande parte da energia aplicada é recuperada após as descargas. A energia dissipada é cerca de 50% da energia máxima aplicada.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UMA PAREDE EM ALVENARIA DE ADOBE

Este capítulo é dedicado à descrição dos trabalhos de caracterização do comportamento estrutural de edifícios em alvenaria de adobe em laboratório. Para os quais foi construída em laboratório uma parede em escala real com adobes provenientes de uma demolição.

4.1 CONSTRUÇÃO DA PAREDE

Para uma melhor compreensão e caracterização do comportamento estrutural de paredes em alvenaria de adobe, foram efectuados ensaios sobre uma parede, em laboratório, sob solicitações verticais para simular as acções permanentes e sobrecargas, combinadas com solicitações horizontais cíclicas, como as induzidas por sismos.

Com blocos de adobe obtidos de uma demolição, situada em Paço Aveiro, que também foi alvo de ensaios “*in situ*” (descritos no capítulo 5.2), construi-se uma parede em tamanho real no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro (ver Figura 4.1). Os blocos utilizados têm a dimensão de $29 \times 45 \times 12 \text{ cm}^3$ e um peso volúmico de 16 kN/m^3 .

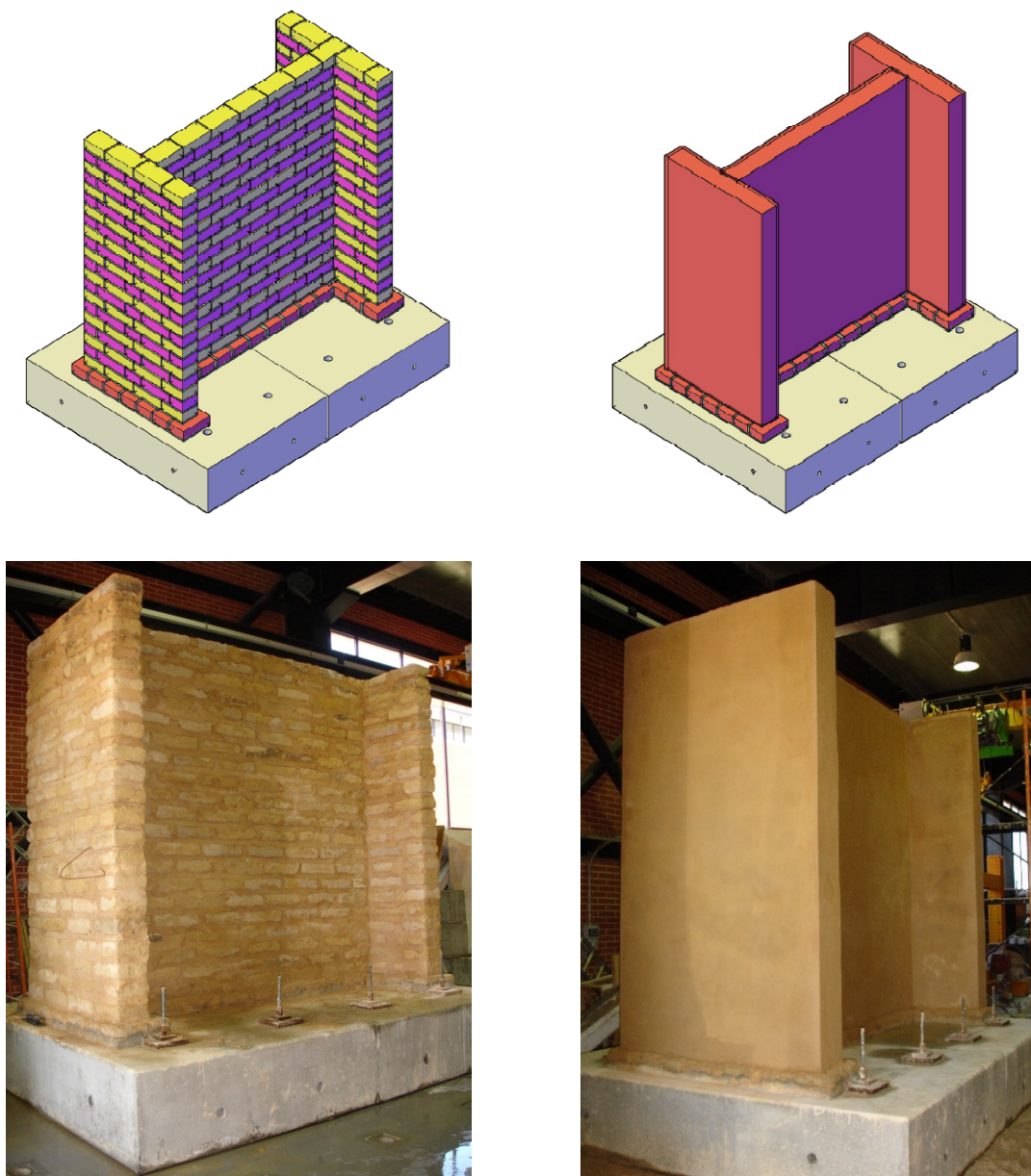


Figura 4.1 - Pared construída em laboratório.

Tendo em consideração as composições das argamassas encontradas na zona onde se recolheram os blocos de adobe e o objectivo de se obter uma argamassa representativa, adoptou-se a seguinte composição, em termos de volume aparente, 1:1:2 para cal hidratada, terra (terra da região ligeiramente argilosa) e areia, respectivamente. Relativamente à quantidade de água, foi adicionada a quantidade necessária até que a argamassa tivesse a trabalhabilidade desejada, estando de acordo com o procedimento de amassadura que era habitualmente realizado em obra.

Utilizou-se sempre o mesmo traço tanto para a argamassa de assentamento como para a de reboco. Nas juntas de assentamento utilizou-se uma espessura média de 2.5 cm e para o reboco de 2 cm. De forma a caracterizar a sua resistência à compressão, foram feitos 18 provetes com dimensões de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ para posteriormente se realizarem ensaios de compressão nos mesmos.

A parede foi construída com a forma de “I”, de forma a ter uma maior rigidez, tem uma altura de 3.07m, comprimento de 3.5m e a espessura média de um adobe mais reboco, neste caso 0.29m. (ver Figura 4.2) Para fundação utilizaram-se sapatas de betão armado fixas através de varões roscados Dywidag à laje de reacção do laboratório. Por sua vez, a ligação da primeira fiada de adobe às sapatas foi feita recorrendo a uma argamassa de cimento, de forma a impedir que durante o ensaio se desse uma rotura na junta, entre a sapata e o primeiro adobe.

Na Figura 4.3 podem-se ver as diferentes fases da construção da parede. Para uma melhor visualização das fissuras a parede foi caiada.

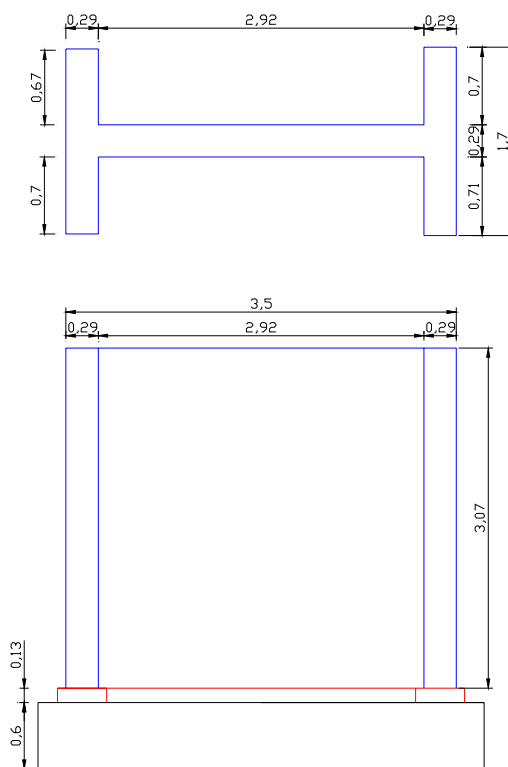


Figura 4.2 - Dimensões da parede.



Figura 4.3 - Construção da parede

4.2 ENSAIO DA PAREDE

Foram realizados dois tipos de ensaios sobre a parede. Inicialmente, ensaios dinâmicos não destrutivos onde foram medidas as frequências próprias da parede, que permitem caracterizarem o seu comportamento dinâmico e a calibração de modelos numéricos. Numa segunda fase, foi efectuado um ensaio destrutivo com imposição de deslocamentos horizontais cíclicos de amplitude crescente impostos no topo da parede até à sua rotura.

Para a realização do ensaio foi colocada uma carga axial de 2 toneladas, de forma a simular as acções permanentes e sobrecargas.

Na Figura 4.4 representa-se um esquema geral da parede e do dispositivo de ensaio.

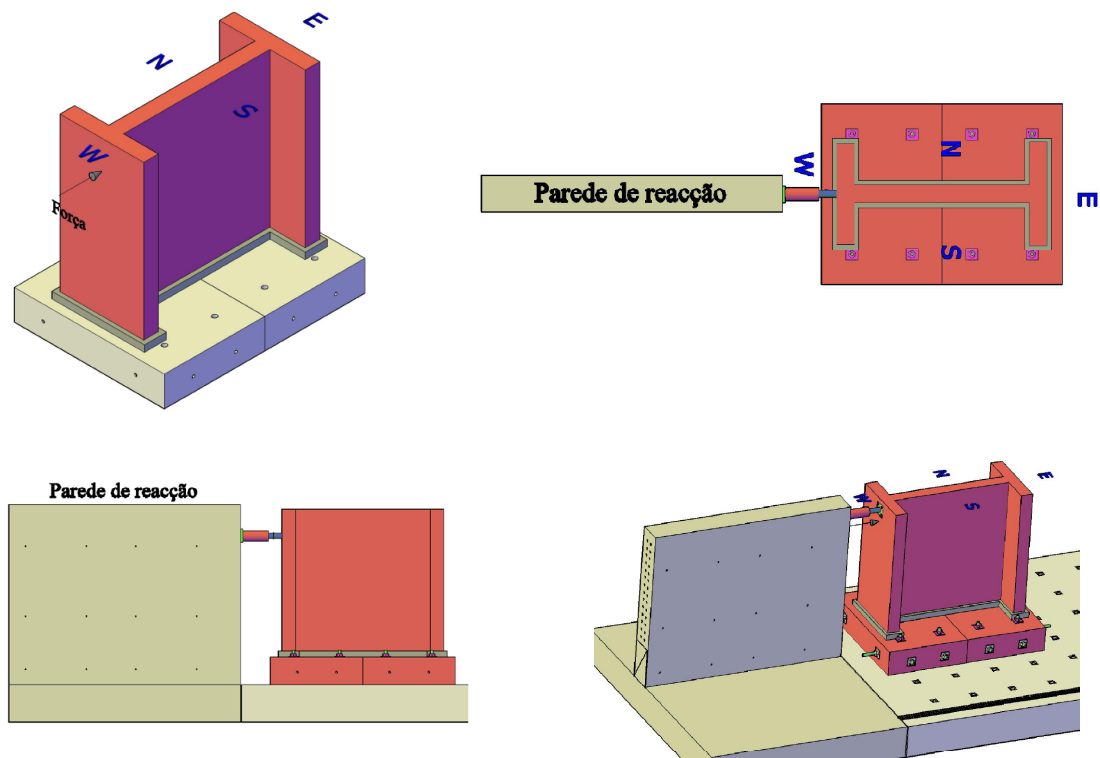


Figura 4.4 - Esquema geral de ensaio.

4.2.1 Ensaios dinâmicos

Foram feitas leituras, através de um sismógrafo, das frequências e como excitação aplicou-se um impulso dinâmico sobre a parede. Foi medida a primeira frequência natural da parede inicial e após cada nível de deslocamentos cíclicos impostos. Na Figura 4.5 pode ver-se a evolução da frequência ao longo do ensaio.

Da análise dos resultados pode observar-se:

- A 1ª frequência natural da parede com carga axial é de 22.95 Hz.
- Após a primeira sequência de ciclos, correspondentes a um deslocamento máximo de 0.1 mm, a 1ª frequência cai para o valor de 21.48 Hz

- Após a segunda sequência de ciclos, 0.5 mm, a 1ª frequência cai para 20.51 Hz.
- Após a rotura da parede a sua frequência fundamental cai para o valor de 18.07 Hz.
- Após os ciclos finais do ensaio, a frequência desce para 15.63 Hz

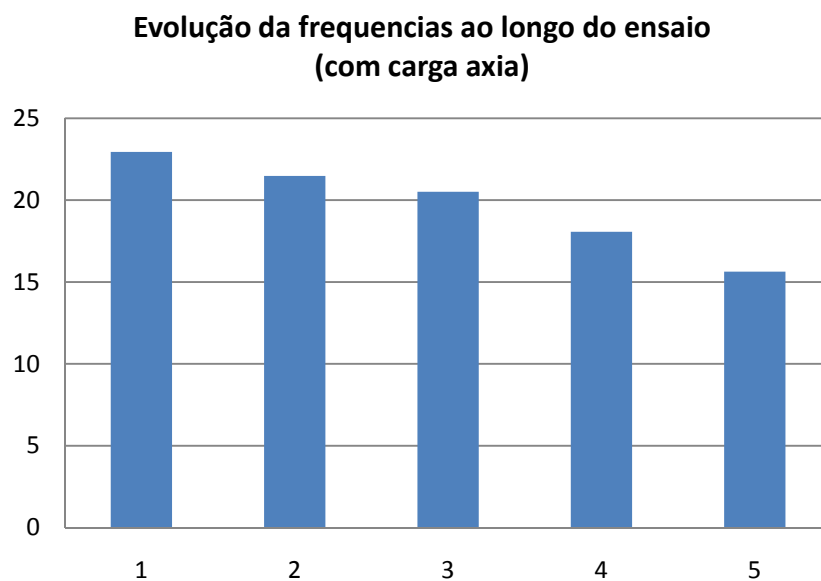


Figura 4.5 - Evolução da frequência ao longo do ensaio

4.2.2 Ensaio cíclicos

A parede foi ensaiada com deslocamentos horizontais cíclicos de amplitude crescente impostos no topo da parede até à sua rotura. Para a realização do ensaio foi colocada uma carga axial de 2 toneladas, de forma a simular as acções permanentes e sobrecargas.

A carga horizontal foi aplicada com o recurso a um actuador hidráulico, sendo centrada nas paredes a uma altura de 2.5m desde a cota da primeira fiada de adobe, tendo

vido medida com recurso a uma célula de carga do tipo TC4 da marca AEP-Transducers, em simultâneo com o registo de deslocamentos através de transdutores fixos a estruturas externas de referência (simples andaimes) (ver Figura 4.6, Figura 4.7 e Figura 4.8). O sistema de aquisição consistiu num par de placas de aquisição da National Instruments (NI) ligadas via USB a um computador portátil destinado a visualizar e registar as medidas dos transdutores através de um programa de aquisição e controlo desenvolvido no LESE (Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da FEUP) com base na plataforma LabVIEW da NI.

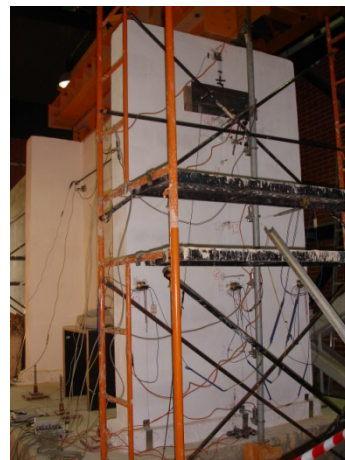
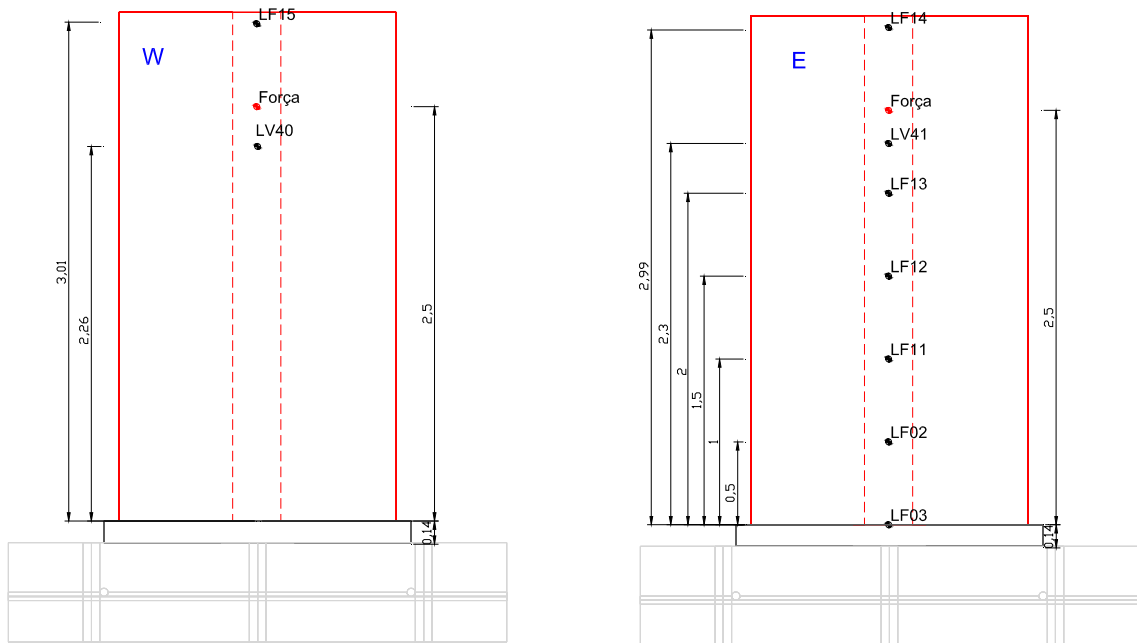


Figura 4.6 - Transdutores de deslocamentos horizontais.

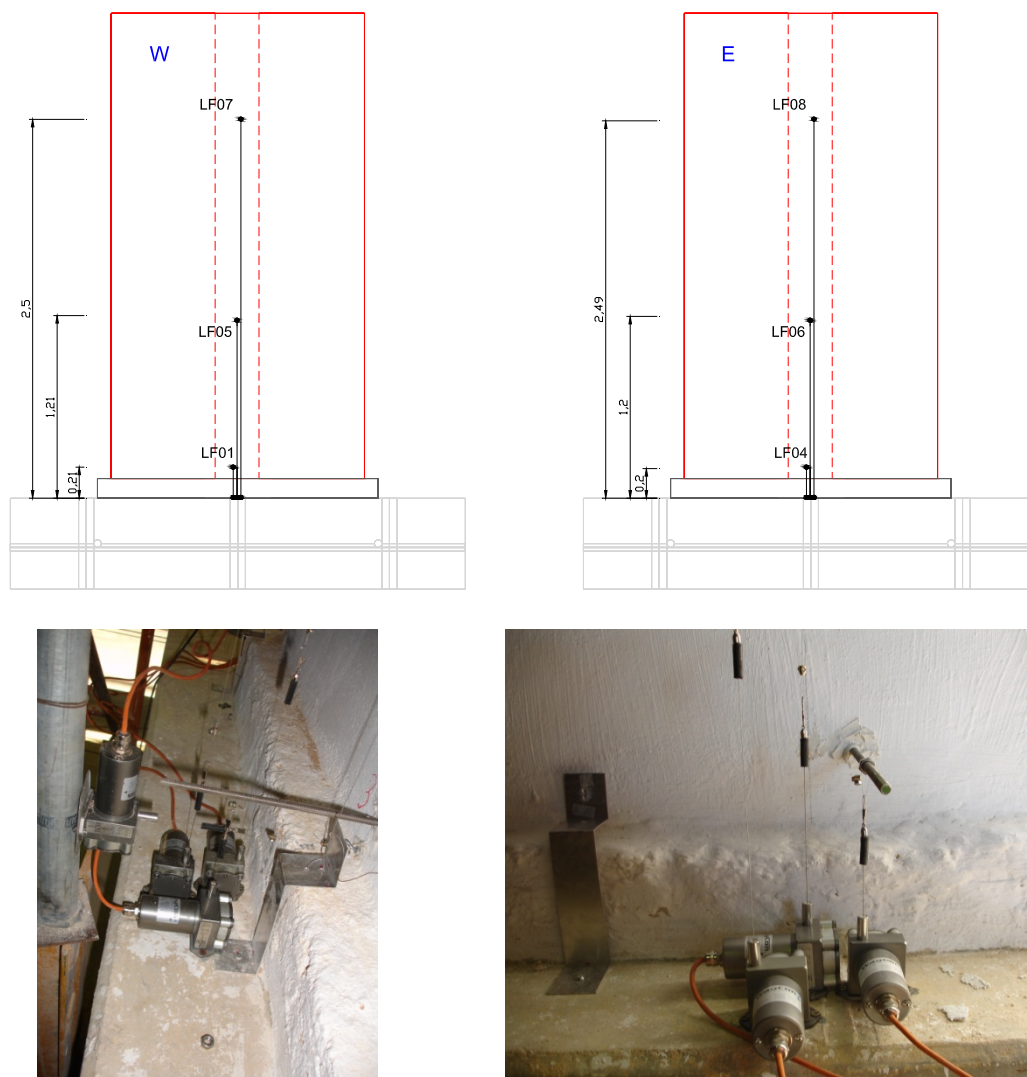


Figura 4.7 - Transdutores de deslocamentos verticais.

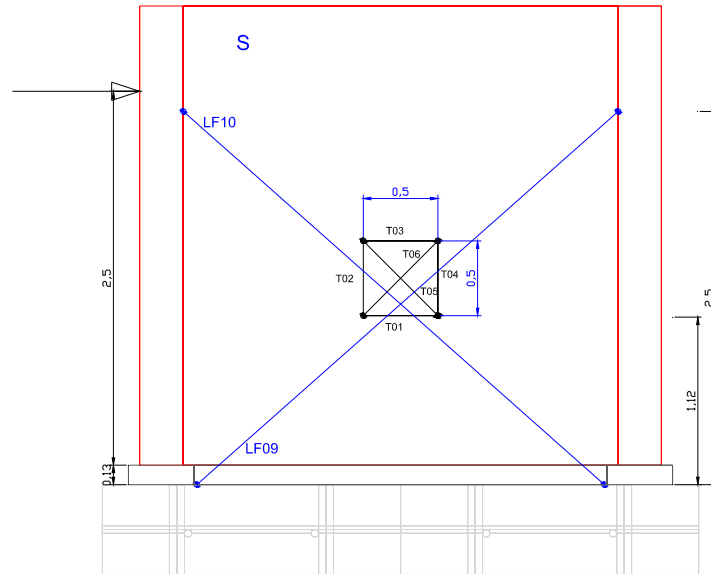


Figura 4.8 - Transdutores de deslocamentos face sul.

A parede foi ensaiada com deslocamentos horizontais cíclicos de amplitude crescente impostos no topo da parede até à sua rotura (ver Figura 4.9).



Figura 4.9 - Evolução de danos.

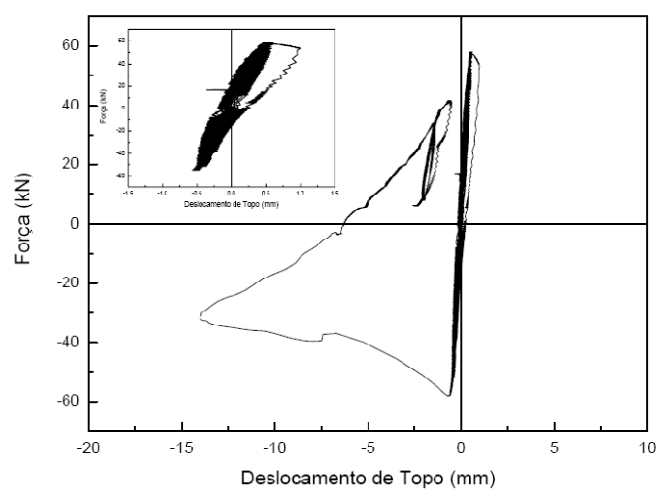


Figura 4.10 - Força *versus* deslocamento no topo da parede.

Do ensaio cíclico realizado, podem retirar-se as seguintes conclusões gerais (ver Figura 4.10):

- A capacidade máxima da parede em corte é de 58 kN.
- O deslocamento no topo da parede correspondente à força máxima aplicada é de 1 mm
- O máximo deslocamento aplicado foi de 13.7 mm
- A resistência residual é de 30 kN? (cerca de 50% da capacidade da parede).

Os dados recolhidos deverão permitir caracterizar as construções existentes em adobe, interpretar as patologias estruturais mais comuns, calibrar modelos numéricos, avaliar a segurança e desenvolver soluções de reforço adequadas.

CAPÍTULO 5

ENSAIOS “IN SITU” SOBRE CONSTRUÇÕES DE ADOBE

Neste capítulo descrevem-se as campanhas experimentais realizadas “in situ” em edifícios em alvenaria de adobe. De forma a caracterizar o comportamento estrutural de construções já edificadas.

5.1 MURO – FERMELÃ

Foram realizados ensaios de caracterização mecânica *in-situ* num muro situado no distrito de Aveiro, mais precisamente em Fermelã uma freguesias do concelho de Estarreja. Dado que o referido muro ia ser demolido por motivos de obras na habitação, aproveitou-se para recolher alguns blocos, para ensaios de laboratório e para realizar trabalhos de caracterização mecânica *in-situ* do comportamento da parede de alvenaria de adobe, com representação das reais condições materiais, de apoio e de ligação a outros elementos estruturais (ver exemplo na Figura 5.1).

O facto de se executarem os ensaios na própria construção e não em modelos realizados em laboratório, permite avaliar o funcionamento global da estrutura, podendo-se assim obter valores que melhor descrevem o comportamento dos diferentes elementos e avaliar de forma mais rigorosa as condições de funcionamento estrutural, quer nas ligações

entre paredes, quer o efeito das coberturas nas paredes estruturais ou a influência das aberturas e de outras singularidades.



Figura 5.1 - Parede ensaiada *in-situ*.

A metodologia e o esquema de ensaios *in-situ* (Figura 5.2) são semelhantes aos ensaios realizados em laboratório, anteriormente descritos. Realizaram-se também medições *in-situ* de acelerações, com recurso a um sismógrafo, para estimar as frequências próprias dos elementos estruturais em estudo.

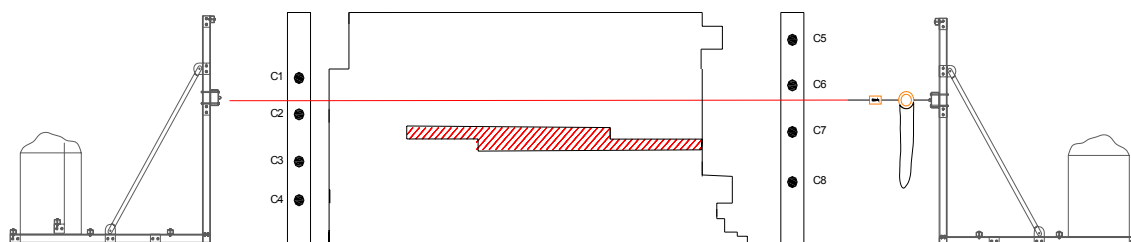


Figura 5.2 - Esquema de ensaio da parede *in-situ*.

5.1.1 Ensaaios dinâmicos não-destrutivos

De forma análoga ao procedimento utilizado para a parede ensaiada em laboratório, foram também feitos ensaios dinâmicos sobre a parede antes do ensaio, para estimar a sua frequência própria e, de forma simplificada, estimar o módulo de elasticidade médio da parede Figura 5.3. Das acelerações registadas no sismógrafo estimou-se para a primeira frequência o valor de 2.20Hz na direcção transversal da parede.



Figura 5.3 - Leitura com sismógrafo de acelerações (*in-situ*).

Assumindo para a parede um funcionamento em consola, secção transversal constante, encastrada na base e com massa uniformemente distribuída em altura, estimou-se o módulo de elasticidade. Através da expressão apresentada na secção 3.5.1, e tendo como base a frequência transversal estimada, obteve-se para o módulo de elasticidade médio da parede medindo um valor de 101.2MPa.

5.1.2 Ensaaios cíclicos

De forma a caracterizar o comportamento de uma parede da construção em estudo, no plano e fora do plano, executaram-se numa primeira fase ensaios cíclicos semi-destrutivos no plano e, numa segunda fase, ensaios cíclicos destrutivos fora do plano, impondo-se forças controladas e registando-se os correspondentes valores de deslocamento em vários pontos da parede.

Nos ensaios não foi considerada qualquer carga vertical adicional, de forma a simular o real funcionamento da parede em estudo. As forças horizontais impostas no ensaio no plano da parede, são aplicadas em ciclos sucessivos de amplitude crescente, com carga, descarga, e recarga em sentido oposto. No ensaio fora do plano foram impostos ciclos de carga-descarga num só sentido, de amplitude crescente até ao colapso total da parede.

5.1.3 Ensaio cíclico no plano

Para a realização do ensaio cíclico no plano foi montado o esquema de ensaios de acordo com o representado na Figura 5.2. Foram registados os deslocamentos em vários pontos em função da força aplicada. Na Figura 5.4 apresenta-se a evolução da força horizontal cíclica aplicada à parede.

Na Figura 5.5 representam-se os gráficos que relacionam a força aplicada à parede no plano com o deslocamento de topo medido, à esquerda e à direita. Na Figura 5.6 apresenta-se a evolução da energia dissipada ao longo do ensaio cíclico, calculada com os deslocamentos medidos à esquerda e à direita.

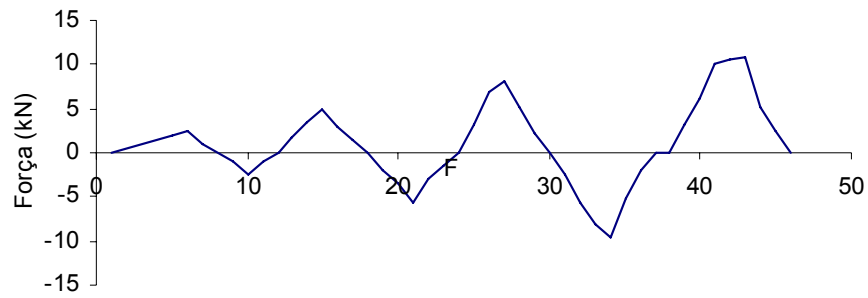


Figura 5.4 - Evolução da força aplicada ao longo do ensaio

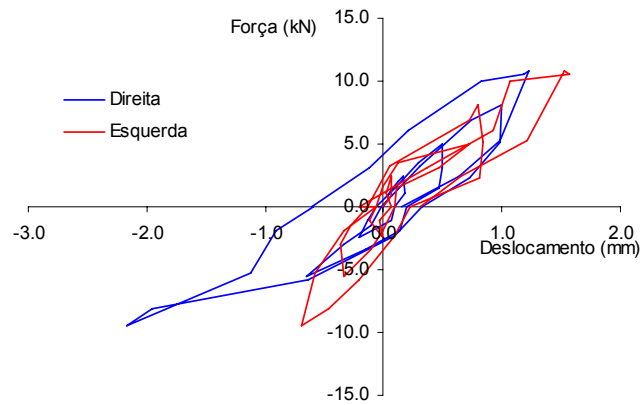


Figura 5.5 - Força *versus* deslocamento no topo da parede.

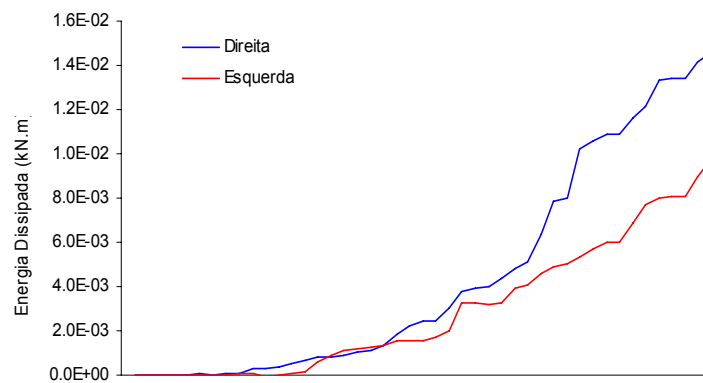


Figura 5.6 - Evolução da energia total ao longo do ensaio.

Da análise dos resultados dos ensaios apresentados nos gráficos anteriores observa-se que a força horizontal máxima aplicada na parede foi de 10.7kN. Não se elevou a carga a um nível superior, até à rotura, para que fosse possível realizar um segundo ensaio cíclico fora do plano. Da análise dos gráficos que relacionam os deslocamentos no topo da parede (à esquerda e à direita) com a força aplicada e a evolução da energia dissipada, podem-se verificar diferenças significativas, devido ao comportamento não simétrico da parede. Contudo, ambos apresentam a mesma tendência.

De uma forma global, e apesar das diferenças na evolução força-deslocamento, a rigidez inicial medida em ambas as faces da parede é semelhante.

5.1.4 Ensaio cíclico para fora do plano

Para a realização do ensaio da parede fora do plano foi montado um novo dispositivo de ensaio, concebido para aplicar forças apenas num sentido, ou seja, ciclos carga-descarga sem inversão do sinal da força. Foram adoptados dois alinhamentos de transdutores. Cada alinhamento foi colocado a um terço do desenvolvimento da parede em planta (ver Figura 5.13).



a) Transdutores



b) Aplicação da força horizontal.

Figura 5.7 - Ensaio da parede *in-situ* fora do seu plano.

Na Figura 5.8 são representados os gráficos que relacionam a força aplicada à parede fora do plano com o deslocamento medido no topo. Como se pode observar, a força horizontal máxima aplicada na parede foi de 0.69kN, sendo um nível de força muito baixo, quando comparado com a força horizontal aplicada no plano (10.7kN). O colapso da parede fora do seu plano deu-se para um deslocamento de 16mm, a que corresponde um drift aproximado de 0.95%.

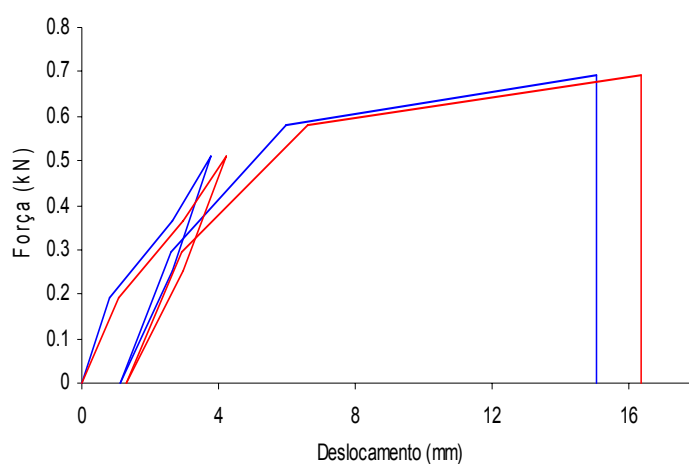


Figura 5.8 - Resultados do ensaio *in-situ* da parede fora do plano: força *versus* deslocamento.

Comparando os resultados do ensaio no plano e fora do plano, verificam-se valores de *drift* semelhantes para forças 15 vezes superiores (no caso do ensaio no plano). Isto demonstra que a vulnerabilidade deste tipo de elementos estruturais face a acções horizontais, como os sismos, é significativamente superior quando solicitadas fora do plano. O modo de rotura verificado na parede é associado a uma rotação pela base, apesar da pronunciada fragilização da parede a meia altura

5.2 CASA DO PAÇO

A fim de caracterizar o comportamento mecânico (rigidez, capacidade resistente, capacidade de dissipação de energia, mecanismo de colapso) das paredes de alvenaria de adobe existentes nas construções desta região em face de solicitações cíclicas (tais como as induzidas por sismos), foram realizados ensaios cíclicos quase-estáticos e ensaios de caracterização dinâmica de paredes de uma casa situada em Paço, Aveiro.

Segundo informações recolhidas no local a casa em estudo teria entre 80 a 100 anos e situa-se numa zona rural. Com a fachada principal orientada a sul, compõe-se de um corpo rectangular principal de um piso térreo e por uma ampliação lateral de dois pisos junto da fachada principal (ver Figura 5.9). A tipologia construtiva da habitação baseava-se em paredes em alvenaria de adobe, pavimentos em madeira de pequeno vão (entre os 2 e os 4 metros) e cobertura com estrutura de suporte em madeira revestida a telha cerâmica. Foram observados sinais de intervenções feitas durante a vida útil da habitação, tais como a criação de novas paredes e recurso a argamassas de base cimentícia evidenciado pela heterogeneidade de materiais em algumas zonas.

Dado que a casa se encontrava abandonada, foi necessário proceder a trabalhos de limpeza e de demolição estratégica de alguns elementos, seguidos de um levantamento fotográfico para registar anomalias e fragilidades e de um registo geométrico para se definir a zona de ensaio (ver Figura 5.10)

A casa apresentava algumas anomalias estruturais típicas deste tipo de construções antigas: desagregação do adobe por acção de agentes climáticos, fissuração junto a cunhais (sinais de desligamento), na vizinhança de aberturas (concentração de tensão nos cantos) e ainda na zona de entrega deficiente das padieiras em madeira e fissuração localizada em zona de descarga e ligação dos barrotes de pavimento e cobertura.



Figura 5.9 - Casa em alvenaria de adobe – Casa do Paço

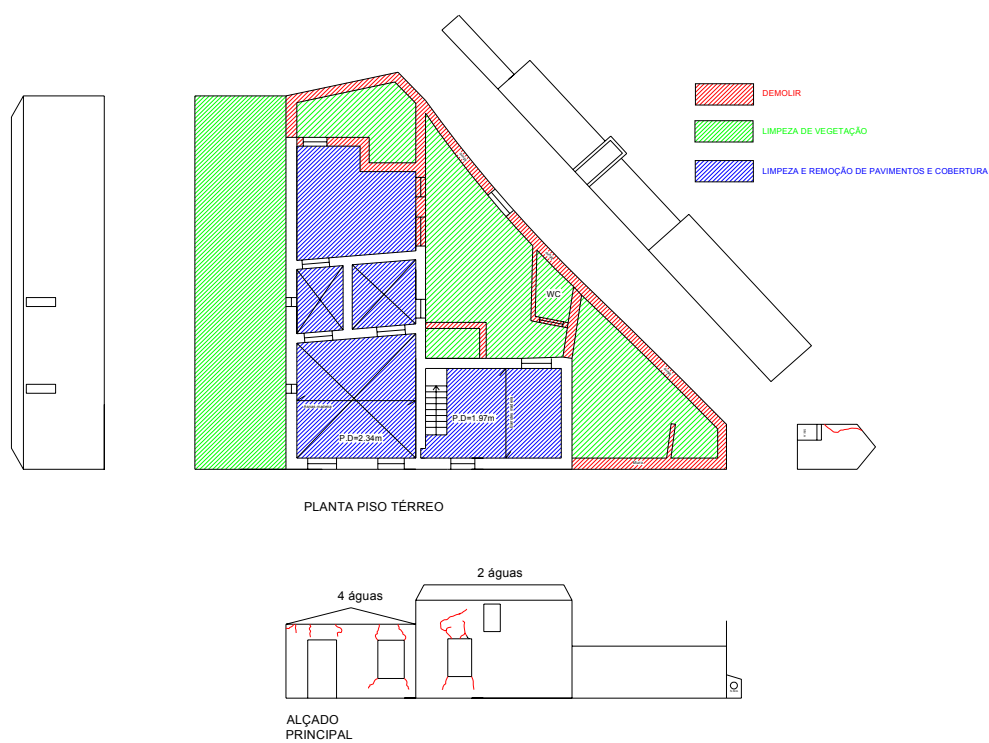


Figura 5.10 - Registo geométrico da habitação e levantamento de fissuração importante

5.2.1 Ensaios cíclicos

Conforme referido no ponto anterior, e dado o estado de conservação da casa, procedeu-se previamente a trabalhos de limpeza e de demolição parcial. Foram removidos os pavimentos as coberturas, janelas e portas, para se realizarem os ensaios em segurança.

Antes da realização do ensaio foi feita a identificação das frequências próprias das principais paredes da casa em estudo para apoiar no futuro a calibração de modelos numéricos. Numa segunda fase, foi efectuado um ensaio destrutivo com imposição de forças horizontais cíclicas fora do plano, em paredes directamente opostas (Figura 5.11), utilizando um sistema de ensaio similar ao apresentado por Arêde *et al.* [34].

Foi então idealizado e montado um dispositivo para aplicar forças horizontais fora do plano por forma a permitir ciclos de carga-descarga com inversão do sinal de deslocamento (Figura 5.11-b). Este dispositivo consistiu simplesmente num tubo oco de alumínio, destinado a prevenir efeitos de 2ª ordem (encurvadura) do sistema de ensaio, ao qual foram ligados dois varões roscados do tipo Dywidag por aparafusamento e soldadura por forma a permitir a conexão às restantes peças do sistema que ligam às paredes. Numa das extremidades foi utilizada uma ligação rotulada, estando na outra extremidade uma ligação rígida realizada por aparafusamento à parede. A fim de permitir introduzir os deslocamentos pretendidos, foi adoptada uma montagem de porca e contra-porca na parede exterior (parede mais frágil que efectivamente se pretendeu ensaiar), respectivamente nas suas faces interior e exterior. Dado que a parede interior “de reacção” estava ligada ao sistema de ensaio reagindo apenas a esforços axiais, o aperto da porca do lado interior da parede exterior permitiu introduzir esforços de compressão no sistema de ensaio impondo assim abertura entre paredes; de igual forma o aperto da porca exterior conduziu a esforços de tracção no sistema, impondo então movimentos no sentido de fecho entre paredes.

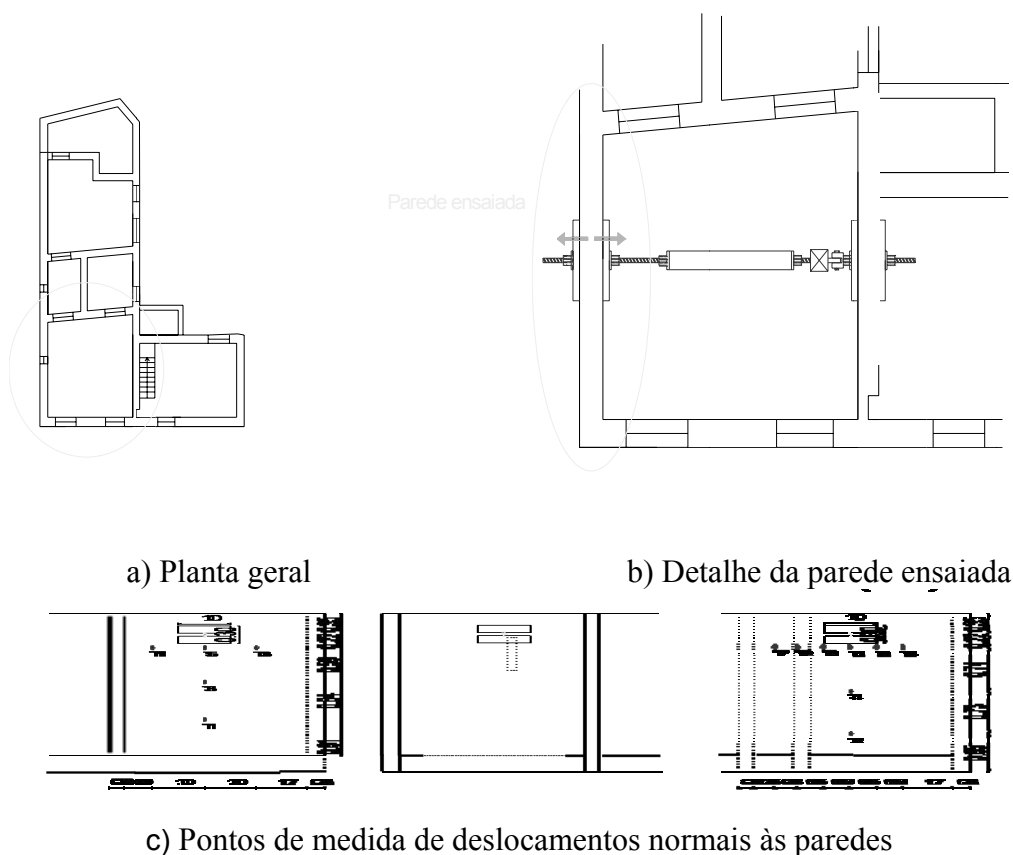


Figura 5.11 - Esquema geral do dispositivo de ensaio.

De forma a permitir uma melhor distribuição das cargas, foram utilizadas pranchas de madeira no encosto do sistema de ensaio às paredes. Este sistema de ensaio baseia-se no apresentado por Costa *et al.* [35], tendo sido no entanto aqui utilizada uma actuação manual para introdução das cargas em vez de uma actuação hidráulica em virtude do reduzido valor previsto para as forças neste ensaio. Na Figura 5.12 é possível observar todo o sistema de ensaio utilizado, assim como os pormenores de ligação às paredes.

A carga foi aplicada centrada nas paredes a uma altura de 2,33 m desde a cota térrea, tendo sido medida com recurso a uma célula de carga do tipo TC4 da marca AEP-Transducers, em simultâneo com o registo de deslocamentos através de transdutores de fio da marca Waycon fixos a estruturas externas de referência (simples andaimes). O sistema de aquisição consistiu num par de placas de aquisição NI-6210 e NI-6211 da National Instruments (NI) ligadas via USB a um computador portátil destinado a visualizar e

registar as medidas dos transdutores através de um programa de aquisição e controlo desenvolvido no LESE (Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da FEUP) com base na plataforma LabVIEW da NI.

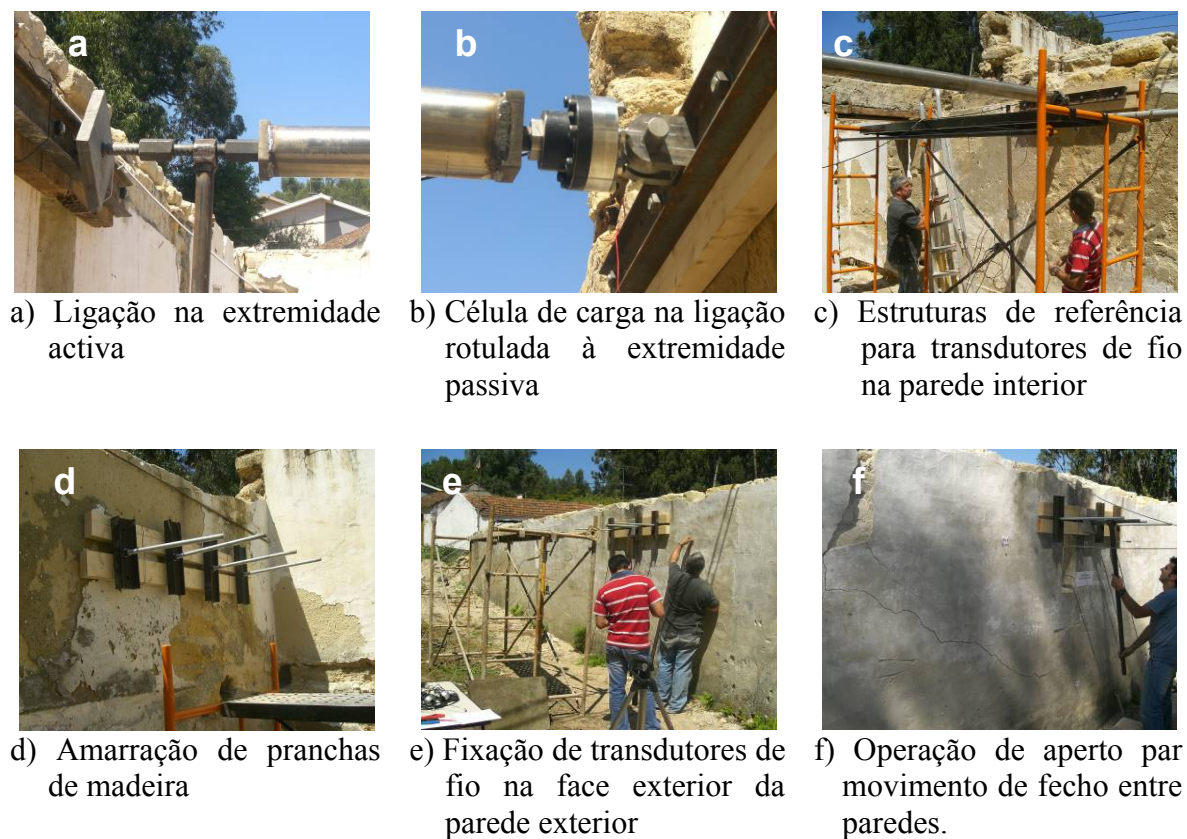
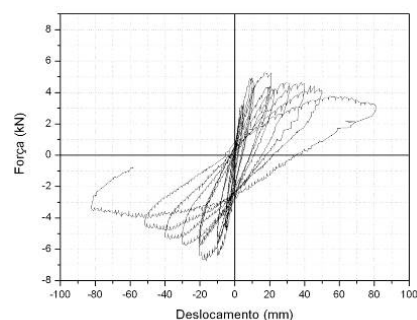
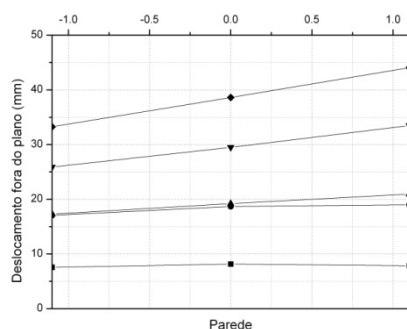


Figura 5.12 - Pormenores do dispositivo de ensaio.

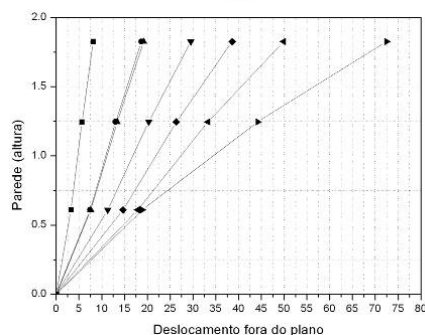
Do ensaio experimental executado foram registados a evolução de deslocamentos em vários pontos da parede (ver Figura 5.11) de acordo com o nível de força imposto. Assim, tal como pode ser observado na Figura 5.13, obteve-se um gráfico representativo do comportamento cíclico da parede próximo do ponto de aplicação da carga, bem como o perfil de deslocamentos da parede em planta e em altura para pontos máximos de deslocamento. Entende-se como deslocamento positivo o movimento para o exterior da parede em análise.



Comportamento cíclico



Perfil de deslocamentos em planta (vista exterior)



Perfil de deslocamentos em altura

Figura 5.13 - Resultados do ensaio experimental

Dos resultados experimentais obtidos, verificou-se que a parede se comportou de modo ligeiramente assimétrico condicionado principalmente pelo efeito da parede de retorno. A resistência máxima exibida foi de 6,8 kN no sentido de abertura e de 5 kN no sentido de fecho entre paredes, perdendo rapidamente resistência após esse nível de força. O comportamento pós-pico exibido é típico de parede de alvenaria solicitada para fora do plano, governado pela instabilidade do bloco em estudo. A parede atingiu um *drift* máximo de 3,8%, tendo-se parado o ensaio devido ao estado de degradação da parede. Do perfil de deslocamento em planta pode ser confirmado o modo de rotura que foi observado no local, com o destacamento da parede do cunhal na parte direita, tendo este último um deslocamento superior à zona de aplicação da carga.

No entanto, e de forma a compreender melhor o comportamento exibido pela parede, foi efectuado um cálculo preliminar da resistência máxima esperada para este painel ensaiado. Com base na análise limite de equilíbrio, resultante do movimento de corpo rígido deste elemento, foi possível obter uma previsão de cerca de 3.3 kN, valor este bastante inferior ao obtido no ensaio experimental. A diferença entre estes dois valores poderá ser justificado parcialmente por alguma resistência à tracção exibida pelas juntas, aumentando assim a resistência ao mecanismo de derrube resultante da aplicação das forças, e também pelo efeito da parede de retorno do interior da casa com uma ligação de blocos bem emparelhada que contribuiu para o aumento da resistência à torção global e ao corte das juntas na ligação.

Relativamente aos efeitos e danos sobre a parede, foi observado o desenvolvimento da fissuração junto ao cunhal numa zona já com sinais de fragilização. A fissuração evoluiu de forma que as duas paredes ortogonais ficaram totalmente desligadas (devido à rotura de adobes causada pela acção crescente para fora do plano) desde o nível da cobertura até 25cm acima do terreno com um abertura de cerca de 2cm como se pode visualizar na Figura 5.14.



Figura 5.14 - Evolução do desligamento do cunhal.

Durante o ensaio foi observada a criação de um mecanismo de flexão de charneira diagonal que levaria a parede a uma rotura por flexão para fora do seu plano, como se visualiza na Figura 5.15, que inclui também uma representação esquemática dessa forma de rotura.



Figura 5.15 - Mecanismo de rotura parcial para fora do plano

O facto de se executar o ensaio na própria parede em estudo e não em modelos realizados em laboratório, permite avaliar e descrever com maior realismo o comportamento tendo em consideração as reais condições fronteira existentes (quer das ligações entre paredes, quer da eventual presença de coberturas) ou a influência das aberturas, das condições de fundação e de outros pontos singulares.

As condições cinemáticas da rotura verificada são muito dependentes das condições de ligação às paredes ortogonais e da presença de aberturas. Dos resultados experimentais estimou-se os valores máximos de *drift* de 0.4% até ao limite do regime elástico e de aproximadamente 4% para resistência última.

Os dados recolhidos deverão permitir caracterizar as construções existentes em adobe, interpretar as patologias estruturais mais comuns, calibrar modelos numéricos, avaliar a segurança e desenvolver soluções de reforço adequadas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões do presente trabalho e são referidas ainda algumas das possibilidades de desenvolvimento futuro.

6.1 CONCLUSÕES

Com o trabalho apresentado pretendeu-se descrever as características e o comportamento do parque edificado em adobe na região de Aveiro, dando a conhecer os primeiros passos na avaliação do comportamento de estruturas de alvenaria de adobe sujeitas a acções horizontais. Este tipo de trabalho, se devidamente estendido a outros casos, permite caracterizar os modos de rotura das paredes no plano e para fora do plano, o comportamento histerético e o nível máximo admissível de deformação, podendo ainda potenciar formas indirectas de determinar o módulo de deformabilidade inicial das paredes.

O facto de se executar o ensaio na própria parede em estudo e não em modelos realizados em laboratório, permite avaliar e descrever com maior realismo o comportamento tendo em consideração as reais condições fronteira existentes (quer das ligações entre paredes, quer da eventual presença de coberturas) ou a influência das aberturas, das condições de fundação e de outros pontos singulares. Por outro lado a

realização de estudos em modelos realizados em laboratório, permite ter um maior controle na construção e uma maior facilidade na realização dos ensaios.

Os resultados obtidos pelos ensaios são usados na modelação com ferramentas numéricas baseadas no método dos elementos finitos, quer na caracterização quer na calibração dos modelos, com vista a uma melhor descrição do comportamento da construção, a uma rigorosa avaliação da segurança estrutural, interpretar as patologias estruturais mais comuns e dimensionamento de eventuais soluções de reforço adequadas.

6.2 POSSÍVEIS ACÇÕES DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Os trabalhos aqui apresentados são apenas o início e dado que os resultados obtidos são muito motivadores sugerem-se os seguintes trabalhos futuros:

- A curto prazo, estudar e realizar o reforço da parede estudada no capítulo 4.
- O desenvolvimento de mais campanhas de ensaios experimentais, tanto em laboratório como *in situ*, para caracterizar outras tipologias construtivas, assim como novos espécimes, dada a grande heterogeneidade existente na região.
- A construção de edifícios á escala real e a avaliação do seu comportamento com recurso a ensaios cíclicos, permitindo avaliar o comportamento de todo o conjunto em vez de elementos isolados.
- Para cada construção estudada realizar fichas de caracterização, onde são incluídos sempre que possível: levantamento da geometria da construção; interpretação do funcionamento do sistema estrutural; caracterização visual do adobe, registo das dimensões dos adobes, espessuras das juntas e camadas de reboco; identificação e registo detalhado das patologias; descrição de eventuais alterações estruturais ou reparações.

- Desenvolvimento de modelos numéricos que representem o comportamento estrutural, e que permitam verificar a segurança e/ou dimensionar o seu reforço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hernandez, R.S.; Barrios, M.S.; Pozas, J.M.M. Characterization of ancient construction materials (mud walls and adobe) in the Churches of Cisneros, Villada and Boada de Campos (Palencia). *Materiales de Construcción* Vol. 50. n.º 257. pp. 33-45. 2000.
- [2] Veiga Oliveira, E.; Galhano, F. *Arquitectura Tradicional Portuguesa. Portugal de Perto* Publicações D. Quixote. Portugal. 1992.
- [3] Seminário. *Arquitecturas de Terra*. Museu Monográfico de Conímbriga. Ed CCRCentro. Portugal. 1992.
- [4] Arêde, A.; Costa, A.; Varum, H.; Vicente, R.; Costa, A.; Pereira, H.; Rodrigues, H. (2007) - Avaliação experimental do comportamento fora do plano de paredes de alvenaria de adobe - V Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 10-13 de Outubro de 2007.
- [5] Houben, H. & Guillaud, H - *Earth Construction - A comprehensive guide*, CRATerre- EAG, Intermediate Technology Publications, London, 1994.
- [6] Varum, H.; Martins, T.; Velosa, A. Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro. IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, 8 a 10 de Outubro de 2005.

- [7] Corazao M; Blondet M. “Estúdio experimental del comportamiento estructural de las construcciones de adobe frente a sollicitaciones sísmicas”. Banco Peruano de los Constuctores. Lima, Peru. 1974.
- [8] Vargas J., Bariola J. e Blondet M. “Resistencia sísmica de la Mampostería de Adobe”, Universidade Católica do Peru, Lima, Peru, 1984.
- [9] Blondet, M.; Torrealva, D.; Garcia, G. - Adobe in Peru: tradition, research and future. - Modern Earth Building 2002 - International Conference and Fair. Berlim, Alemanha, 19 a 21 de Abril, 2002.
- [10] Zegarra L, Quiun D, San Bartolomé A y Giesecke A (1997), “Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 2da. Parte: Ensayos sísmicos de módulos” Colegio de Ingenieros del Perú, Ponencias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Trujillo, Perú, noviembre, Artículo No. E-36 y E-37. 1997.
- [11] Zegarra L, Quiun D, San Bartolomé A y Giesecke A (1997), “Reforzamiento de viviendas de adobe existentes. 1ra. Parte: Ensayos sísmicos de muros U”. Colegio de Ingenieros del Perú, Ponencias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Trujillo, Perú, noviembre, Artículo No. E-36 y E-37. 1997.
- [12] Matos G, Quiun D y San Baitolomé A. 1997. ‘Ensayo de simulación sísmica en un módulo de adobe confinado por elementos de concreto armado’. XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros del Perú. Trujillo, Perú. 1997.
- [13] Tolles E; [et al]. 2000. “Seismic stabilization of historic adobe structures : final report of the Getty Seismic” ISBN 0-89236-587-0, USA, 2000.
- [14] Tolles, E. Leroy, and William S. Ginell, 2000 Getty seismic adobe project (GSAP): “Analysis of the results of shaking table tests on large scale model adobe structures”. Report, Getty Conservation Institute, Los Angeles. 2000.

- [15] Tolles, E. Leroy, Edna E. Kimbro, Charles C. Thiel Jr., Frederick A. Webster, and William S. Ginell, 1993 GSAP—Getty Conservation Institute guidelines for seismic strengthening of adobe project: Report of second year activities. Report, Getty Conservation Institute, Marina del Rey, Calif., October 31, 1993.

- [16] Tolles, E. Leroy, and Helmut Krawinkler 1989 Seismic studies on small-scale models of adobe houses. Ph.D. diss., John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Palo Alto, Calif. 1989.

- [17] Yamin, E.; Phillips, A.; Reyes, C.; Rivero, S.; Ruiz, D. “Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada”; Universidad de los Andes y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) 2004

- [18] Yamin, E.; Cardona, A; Phillips, A.; Reyes, C.; Rivero, S. “Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. Fase I”, Colombia, 2002. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) 2002

- [19] Ruiz, L. Caballero, T Morales, V. “Ensayo de flexión lateral en muretes de adobe compactado reforzados con mallas de acero”, CIIDIR Oaxaca I.P.N. Oaxaca, México. SÍSMICA 2004 - 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. 2004.

- [20] Varum, H.; Costa, A; Pereira, H.; Almeida, J. Ensaio de caracterização do comportamento estrutural de construções existentes em adobe. V SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e I Seminario

- Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra, Mendoza, Argentina, 14 al 17 de junio de 2006.
- [21] Lourenço, P. (2001) - Analysis of Historical Constructions: From Thrust-lines to Advanced Simulations - Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. Guimarães, Portugal, 2001.
- [22] Faria, R. (1994) - Avaliação do comportamento sísmico de barragens de betão através de um modelo de dano contínuo - Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1994.
- [23] Salonikios, T.; Karakostas, C.; Lekidis, V.; Anthoine, A. - Comparative inelastic pushover analysis of masonry frames. - Elsevier. Engineering Structures 25 (2003)
- [24] Blondet, M.; Torrealva, D.; García, G.; Ginocchio, F.; Madueño, I. (2005) - Using Industrial Materials for the Construction of Safe Adobe Houses in Seismic Areas - Earth Build 2005. University of Technology, Sydney, Australia, 19 e 20 de Janeiro, 2005.
- [25] Memari, A.; Kauffman, A. (2005) - Review of Existing Seismic Retrofit Methodologies for Adobe Dwellings and Introduction of a New Concept - Seminario Internacional – SismoAdobe2005. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru, CD-ROM, 15 páginas, 16 a 19 de Maio, 2005;
- [26] Zavala, C.; Igarashi, L. (2005) - Propuesta de Reforzamiento para Muros de Adobe - Seminario Internacional – SismoAdobe2005. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru, 16 a 19 de Maio, 2005; CD-ROM, 11 páginas.
- [27] Sosa, M.; Ferreyra, I. (2005) - Degradación de las Superficies de Muros de Adobes por Acción de Fenómenos Climáticos - IV SIACOT – Seminário Ibero-Americano de Construção em Terra & III Seminário – Arquitectura de

- Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, Portugal, 7 a 12 de Outubro, 2005; 6 páginas.
- [28] Lucas, I. (2006) - Mediciones Higrotérmicas y Lumínicas en Construcciones con Tierra. - V SIACOT – Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra & I SAACT – Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra. Mendoza, Argentina, 14 a 17 de Junho, 2006; 12 páginas.
- [29] Girini, H.; Navas, R.; Romarión, R. (2006) - Evaluación del Confort Higrotérmico en una Vivienda Rural de Adobe Aplicando un Software de Simulación - V SIACOT – Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra & I SAACT – Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra. Mendoza, Argentina, 14 a 17 de Junho, 2006; 7 páginas.
- [30] Alonso, M. (1998) - Propriedades Térmicas de los Adobe - Arquitectura de tierra. Encuentros Internacionales. Centro de Investigación Navapalos. Madrid, Espanha, 1998.
- [31] Stassano R., A. (2005) - La Humedad en las Construcciones con Tierra en el Tropico. Consideraciones de Diseño - IV SIACOT – Seminário Ibero-Americano de Construção em Terra & III Seminário – Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, Portugal, 7 a 12 de Outubro, 2005; 9 páginas.
- [32] Pasino, G. (1998) - Normalización de Ensayos en Albañilería de Adobe - Arquitectura de tierra. Encuentros Internacionales. Centro de Investigación Navapalos. Madrid, Espanha, 1998.
- [33] RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. E&FN Spon. UK. 1994.
- [34] Arêde, A.; Costa, A.; Costa, A. A.; Oliveira, C.S.; Neves, F. Caracterização Experimental do Sistema Construtivo do Grupo Central do Arquipélago Açoreano – Uma Contribuição para a Avaliação e Redução da sua

Vulnerabilidade Sísmica, SÍSMICA 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FEUP, Porto, 2007.

- [35] Costa, A. A.; Costa A.; Arêde, A.; Oliveira, C. S.; Neves, F. “Metodologia da preparação de ensaios a realizar na ilha do Faial, Açores, SÍSMICA 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FEUP, Porto, 2007.